



TITLE:

物理とともに30年

AUTHOR(S):

富田, 和久

CITATION:

富田, 和久. 物理とともに30年. 物性研究 1986, 47(1): 1-45

ISSUE DATE:

1986-10-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/92324>

RIGHT:

物理とともに 30 年*

富田 和久**

- § 0 はじめに
 - § 1 なぜ物理を選んだか
 - § 2 どんな物理を見てきたか
 - § 2-1 核磁気共鳴をめぐって
 - § 2-2 飽和現象から臨界現象へ
 - § 2-3 非平衡開放系 — カオスに会う —
 - § 2-4 振り返って
 - § 3 物性基礎論とは
 - § 4 学際的問題
 - § 5 物理屋の世界
 - § 6 むすび
-

§ 0. はじめに

最終講義ということで、こういう題を選びました。今日のような機会は、多分、一回だけかと思しますので、昔話をいたします。私には、旧制高等学校に入った年に巡り合い、以来一人の人間としての生き方を学んできた先生があります。矢内原忠雄という先生ですが、この先生は大変、男らしい前進の気迫を持った方でありまして、日頃、「過去をふりかえるより、前へ進め。」ということを非常に強く言われました。「過去をふりかえるとしても、それは前進に必要な時だけちょっと振り返るだけでいい、あとは前を向いて歩いていけばいい。」ということ

*) 本稿は京都大学における最終講義(1984年3月9日)をもとに加筆したものです。講義の後、二、三の方から御希望があり、このような形にまとめてみました。

**) 〒520 大津市比叡平3-35-8

でありました。それで私は、それに便乗、というわけでもないのですが、なんとなくその気になりまして、なるべく前を向いて歩いて来ました。その反面、過去をふりかえって、記録したり整理しておくという努力をあまりせずに今日にいたりしました。そこで、実はなんの気なしに、今日のために「物理とともに 30 年」という題目を書いたのですが、さて手をつけてみて、しまったと思いました。まとまった資料がないのです。私にとっては、非常に難問であることに気がつきまして大変困りました。それで、あちらこちら資料のあり場所などを探し回って苦しんだわけですが、実はそういう努力をしたのはほとんど、初めての経験でありますので、それなりに見つけたこともありまして、今日はそういうお話をしてみようかと思うわけです。従来、こんな形で過去をふりかえるというか、自分の研究生生活を縦にながめてまとまったお話をしたことはありませんので、ことによったら、一回限りのこういうお話が何か若い方の参考になることがあるかも知れません。もしそういう点があるならば、私としては望外の幸せであります。

「物理とともに 30 年」という漠然とした題をつけたわけですが、先程、教室主任から、正確には 30 年より長いという訂正がありました。それはその通りなのですが、本日の私の気持としては、「物理教室とともに 30 年」という心持で、こういう題をえらんだのです。——— 京都大学の物理教室には 32 年から 3 年おったわけですが、数えて見ますと大体、3 年ぐらいいは在外等で留守をしていたことになる。ですから本当に教室にいたのは 30 年程度ということになるかもしれない。——— しかし、これは、理屈でありまして、本当は物理をやろうと心に決めてからは 40 年と言った方が正確なのです。——— しかし、私としては京都の教室にご厄介になって仕事をしたという記憶が、最も身近な鮮やかなものでありますので、こういう題をつけたわけであります。そこで、こういうこととお話をするとして、若い方から質問が出るとすれば、どういうことが出るだろうと考えたのですが、今迄の経験から、まず出てくるのは「何故、物理を選んだのか」という質問ではあるまいかと思いました。そこで、そんなことから話を始めてみようかと思います。

その前に、まず、第 1 図を見ながら、歴史的なことを申し上げておきますと、——— だいたいあとで出てくる仕事の話の前段階になるわけですが、——— 私が高等学校へ入りしたのは、1937 年（昭和 12 年）でありまして、3 年たって大学に進み、大学を出たのが 1942 年になります。ご覧になって分るように、大学の期間が 2 年間です。当時の大学は本当は 3 年あるはずですが、1 年、正確には半年余りけずられて、出たわけですが。理由は、言うまでもなく第二次世界大戦でありまして、大学を 9 月に卒業、10 月から軍隊の訓練に送られるという仕末になりました。以来、終戦（1945 年）までほぼ 3 年間、海軍で生活しました。ただし、物理をやったということがいくらか役立ちまして、海軍兵学校という所で、学生諸君を相手にジ

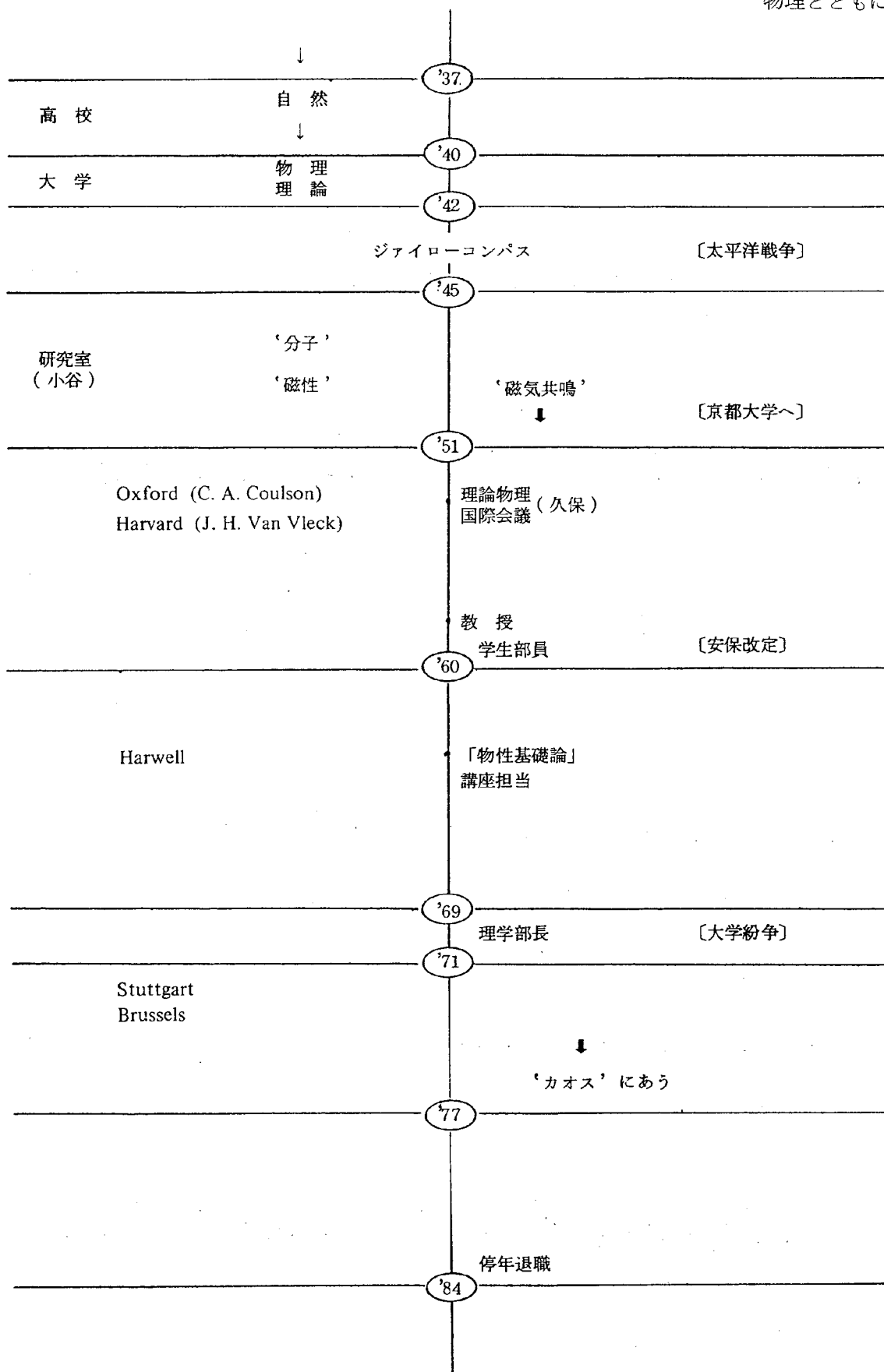


図1 年代と背景
丸印の中に西暦年代を示す。

ヤイロコンパスの講義をしたり、航海、気象関係の測定器の勉強をしたり、そんな生活を送っておりました。しかし、終戦を迎えて、とにも角にも古巣の東大にもどり、全く新規まき直しというつもりで勉強をはじめました。そのうちに、当時、私の指導者であった小谷正雄先生が京都大学に兼務をはじめられまして、やがて、京都における先生の留守番役として、私が来ないかということになり、1951年に京都大学の物理教室に参ることになりました。———この年を起点に考えると、割に勘定しやすい面がありまして、その前が大体10年、またその後もほぼ10年毎に、まとまった何かがありまして、1980年でだいたい30年ということになったわけです。———これが私の年代的な経歴です。そこで、これから、この段階に従っていろいろお話してみようと思います。

初めに、だいたい話の順序を申し上げておくのがよいと思いますが、まず先程申しました様に、若い方からよく出る質問に答えて「何故、物理を選んだか」 (§ 1) ということ、次に、これが実は一番長い実質的なことでありますが、「30年間、どんな物理をみてきたか」 (§ 2) ということ。———これには少し時間をかけさせていただきます。3番目 (§ 3) には、長年様々の問題に関わってきた結果到達したというか、ある意味で物理に対する現在の私の気持ちを述べます。先刻ご紹介にありましたように、私は1963年から「物性基礎論」という名前の講座をお預りしておりまして、この名称がある時は重たいように感じられ、ある時はよくわからないようになり、いろいろ自分に対するチャレンジ、またヒントになって来たような面があるのですが、現時点で、この「物性基礎論」というものはどういう役割をになっているのか、ということについて、私の考えをお話ししたいと思います。次には「学際的問題」 (§ 4)。これは多くの内容がある訳ではありませんが、物理をやっていると、いろいろ物理だけで原理的に自足している (self-closed) ように考えられたり、言われたり、そういうことがございますが、私はもう少し広い視野の中に物理をおいたらどうかという考えを持っておりますので、そういう他の学問、他の専門分野 (discipline) との関係というか、あるいはもっと広い目で物理を見るというようなことに触れてみようと思います。

最後は、やゝ余談になりますが、「物理とともに30年」と申ししたのは、もちろん「物理学」を含んでおりますが、あえて“学”を取りました理由があります。それは、“学”だけでなく、物理学を研究する仲間、いわゆる“物理人間”と長年つきあってまいりましたので、人間的側面からみた物理、———別の言葉で言えば物理学者の社会としての学会や教室というものについての経験や感想を少し申しのべてみたいと思います。これが5番目の、「物理屋の世界」 (§ 5) というところです。

大体そういう構成でお話をして、時間がうまく使えたらと思っております。

§ 1. なぜ物理をえらんだか

先ほどの年代表（第1図）にしたがってお話をしようと思いますが、まず最初の部分です。「なぜ物理を選んだか」ということは、考えようによってはあらたまって問題を出すようなことでもないのですが、当時の社会的事情などが多少反映している面があります。実際、自然科学の方向に傾いていったのは中学の終りの頃であります。高等学校の志望を文科にするか理科にするか選ぶにあたって、長く外国生活をした私の親しい叔父が、文科へ行け、そして外交官になれ、とすすめました。（注1）一方私のクラス担任は物理の先生（注2）だったのですが、お前はどうしても理科系だ、というわけで、しばらくもみ合った揚句、結局、理科系を選択しました。後から考えると、当時は戦争の前夜、世相の騒がしい時代でありまして、非常に強圧的な言論が横行しておりました。それが私は嫌いだったのです。物の言い方次第で人を言いくるめたり、圧倒したりするような風潮に反感がありました。それに較べれば、自然というものは嘘をつかない、“本物の一つだ”という思いが私にありました。それでやっぱり自然をやろうと思いました。これが中学の終りの時点です。

それで、高等学校は理科へ行ったわけですが、三年（最終学年）のクラス担任は、力学の講義をされた原島鮮（あきら）先生（注3）でした。物理志望というのが決ったのは高等学校の時なのですが、比較の対象となった生物系統の学問は —— 今は大分違うようですが、—— かなり暗記物のような面がありまして、何かもう少し筋を追って考えたいという気持ちが私にありました。他方、T先生の物理の講義は漫談のように聞えて、どうもすっきり頭におさまらなかった。それで、少々生意気ですが、「こんなはずはない。自分で考えてみたい。」という気持ちがありまして、結局物理をやることになりました。こうして、大学に行きまして、後期（注4）には、理論か実験かを選ばなければならぬ段階が来ましたが、とどのつまり実験ではなくて理論を選んだというのは、そんなに身体に自信のある方ではなかったという配慮が多少あったように思います。こうして後期（注4）では小谷正雄先生の研究室に行きまして、H. Bethe や F. Bloch の原子による電子の散乱の理論などの輪講をした覚えがあります。そういうわけで、私の場合は、物理を選んだ過程は、いわば引き算的なもので、最後に物理が残ったという感じでありました。しかしながら、多くの人がそういう選択の方法をとってたというわけではありません。現に、物理学科で私の一級下に、中学以来同窓の友人で川西瑞夫（みずお）君という人がおりました。—— 御存知の方があるかもしれません、みずず書房から遺稿集がでております。（注5）—— この人はにこやかな人なつこい人でしたが、その思想は規模宏壮でありまして、—— 自分は物理へ入るのだが、まずその準備に数学をやる。数学を

富田和久

やったら物理に行って、物理をこなしたらその力で生物にいく —— というわけです。そういう長期的な予定をたて、遠大な構想を持っている人もあるというので、強い印象を受けた覚えがあります。ところが、この川西君は、昭和17年秋、私が大学から軍隊に行くのを見送ってくれた後、半年たたないうちに腸チフスで亡くなりました。後期では、光学実験の田中務という先生につきまして、北海道へ日食の観測に行くので準備しているという、非常にうれしそうな手紙を戦地で私がもらって間もなく亡くなったのです。ところで、彼は病気でなくなったのですが、もう一人、私自身が小谷先生の所で一緒に輪講をやった中村知弥君という友人がおりました。この人は、私とちがって陸軍の方に行きました。ところが、彼は陸軍士官学校の教官をしていて、米軍爆撃の直撃にあい、命を落としました。そういう戦争の影響が目の前にありました。そういうわけで、私は引算法で物理にいったのですが、だんだんと私の親しい友人がそういうことで世を去って行くということになりまして、私としても後に退けないという感じが、そのころからし始めました。

戦争中私は、すでに申したように、江田島の学校で、士官の卵に技術を教えるというような仕事をしておりましたが、とどのつまりは、広島に落ちた原子爆弾のきのこ雲をこの目で見破目になりまして、これは非常に大きな衝撃でした。私はその少し前に、紹介をうけて広島に行き、市長の栗屋仙吉（注7）という方を尋ねて、種々お話をうかがったところでした。その記憶がまださめやらぬうちにあの事件になりまして、市長さんは亡くなるし、またもう一人、広島で陸軍に勤務していた二宮健策という先輩を失いました。いずれも私にとって生涯忘れたくない事件になりました。

そういう訳で、物理をえらんだと言っても、この様な激動の中で、よくも物理をやめずにやって来たものだ、という感想がある程ですが、段々私の方向がきまって行きました。

§ 2. どんな物理をみてきたか

そういうことで、戦争は終り、東京へ引きあげてきたわけですが、何から手をつけていいかわからない。卒業した時、軍隊から帰ったらということで名古屋大学に約束がありましたので名古屋に行って見ましたが、軍隊に行っていた人間は、資格審査が済むまでは雇えないと断われまして、しおしおと東京へもどり、小谷研究室に転ろげこみまして、もう一度一から勉強しなおすことになりました。

小谷研では種々様々の文献を読みました。今では大分忘れましたが、終戦直後に皆で読んだ書物の一つに —— こんな古い書物はごらんになった方はないかもしれませんが —— オランダの C. J. Gorter という人が書いた ‘Paramagnetic Relaxation’ (常磁性緩和) という書物

を思い起します。これは小谷研の石黒、神戸、中島、碓井といった面々と一生懸命読みました。今だに忘れないのですが、この書物は実は、ドイツ軍の占領下のアムステルダムで書き始められたのであります。戦争は 1945 年に終わったわけですが、1944 年から 5 年にかけての冬、オランダは「飢餓の冬」(starving winter) という言葉で描写されておりまして、40 歳以上の男はうっかり外に出るとドイツ軍に徴用される、オランダの北半分と南半分は、ドイツ軍の前戦でへだてられて、互いに往来できない、と書いてあります。それでも、なんとか燃料を持ちよってアムステルダムの大学の一室で研究がつづけられていた。その成果がこの書物におさめられているのだと書かれております。これは、戦争直後の我々にとっても他人事ではなく、非常に物質窮乏の時代に、そういうひどい状況の中で、燃料をよせ集めて大学の研究者全部が一室に集ってきて、Paramagnetic Relaxation の研究をやっておったというのは非常に感動的でありまして、いまだに忘れられません。

余談ですが、この Gorter という人は非常におもしろい人物でありまして、アイディアマンなのです。ただ、人にさきがけて成功をおさめたかという点、必ずしもそうでない。そういう人物です。私は注目すべき存在だと思うのですが、オランダは御存知のように低温物理学の伝統がありまして、Gorter の場合、Onnes とか Keesom とかの影響を受けた液体ヘリウムの研究が一方の足であり、もう一方は、磁性の研究でありました。磁性も特に緩和現象 (Relaxation Phenomena) に興味があって、長い間常磁性緩和の研究を続けてきました。およそ 30 年くらい続いていると思うのですが、その終りに近く、彼は電子スピンによる磁気共鳴吸収 (Resonance Absorption) を観測しようというアイデアを持ったのです。それでいよいよというところまでいったのですが、ソ連の Zavoisky という人が同様のことを考えて、一歩先にやりました。また、あとで話が出てきますが、皆さんよく御存知の核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance) という実験法も Gorter の息がかかっています。初期にこの方面の仕事をした N. Bloembergen という人は Gorter の一の弟子であります。ただ、Gorter は彼にオランダに残るようにすすめたそうですが、Bloembergen はアメリカの方が研究ができると考えてアメリカへ行ったようです。それから第三には、「核分極」(Nuclear Polarization) というアイデアがあります。多くの原子核を一方向きにそろえて全体としての信号があらわにとれるかどうかという訳です。これは当時、ライデンの Gorter のグループとオックスフォードの Kürti のグループとの競争になり、これも一歩のところでオックスフォードが先に成功しました。丁度私がオックスフォードに居た時でしたが、「勝った、勝った」と大喜びでした。ライデンはやはりちょっとおくれました。そういう具合に一番乗りには必ずしも成功しませんでした。種々のアイデアが彼から出ていまして、しかもそれがその後の物理学に大きな影響を与えている。そういう意味で、こ

の Gorter という人は、非常に注目すべき存在だと私は思うのです。

そういうわけで、戦後の日本で、読みたい雑誌もまだ届かないというような状況の時に、Gorter 本が手に入りまして、それを一生懸命読みました。小谷先生の研究室というのは、だいたい分子構造と磁性という二本の足があります。分子構造の方は触媒あるいは表面の研究からそちらへ行かれたとうかがいました。磁性の方は、金属のイオンのゆるい原子価、周囲の状況で原子価が変わる —— 例えば、可視部にある吸収の色が変わる —— フェリシアンとかフェロシアンという話がありますが、それに関係した錯塩の磁性ということが発端のようであります。事実、小谷研からは両方面の人がでております。私は主に分子の電子構造のことで御指導を受けまして、行列要素 (matrix element) の計算とか、永年方程式 (secular equation) の解の計算とか、基礎的な訓練を小谷研で受けたのであります。

これが、私の研究生生活の発端ですが、その後の歩みは、いささか変った経路をたどることになりました。以下、その中の小数の例を主だった三つのグループに分けて挙げてみたいと思います。その際、第2図に示した年代と分類を随時参照して頂くのがよいかと思います。なお、ここに触れなかった問題や、扱いの詳細に関しては、末尾の文献表を見て頂きたいです。

§ 2-1. 核磁気共鳴をめぐって

すでに、お気づきかと思いますが、今私のやっていることは、分子や磁性の問題とは大分縁の遠いことでありまして、そういう問題からいつの間にか這い出して揺籠から落ちてしまった組であります。それは、Gorter の本とも関係があるのですが、もう一つ当時のお話をしなければなりません。実は、太平洋戦争中にレーダー開発等に関連して電波関係の技術が非常に進みまして、戦後にはそれがすぐ物理に役立ったわけです。先程ふれた Gorter は電子スピンによる磁気共鳴の信号をもう一步でつかまえるというところまで、戦争直後に進んでいたのです。原子核の磁性スピンについても同様のアイディアが出たことは既に申しましたが、ここでも戦争中に開発された技術的進歩が役に立ちまして、戦後すぐに核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance) の信号を検出することが成功しました。1945 年が終戦ですが、Felix Bloch の 'Nuclear Induction' の論文は 1946 年に出ていますし、E. M. Purcell 達の仕事もほぼ同時に報告されていて、ほとんど戦争末期にやってきたと思ってもいいわけです。—— この仕事は、その後数年経って、ノーベル賞の対象になりました (1952)。

小谷研の研究テーマから出発すれば、前進の方向は必ずしも一通りではないでしょう。例えば、分子構造論から展開していくとすれば、一つ考えられる方向は、簡単な分子でなく、巨大分子へというような方向、例えば固体のような凝縮相の電子構造の問題が思い浮びます。これ

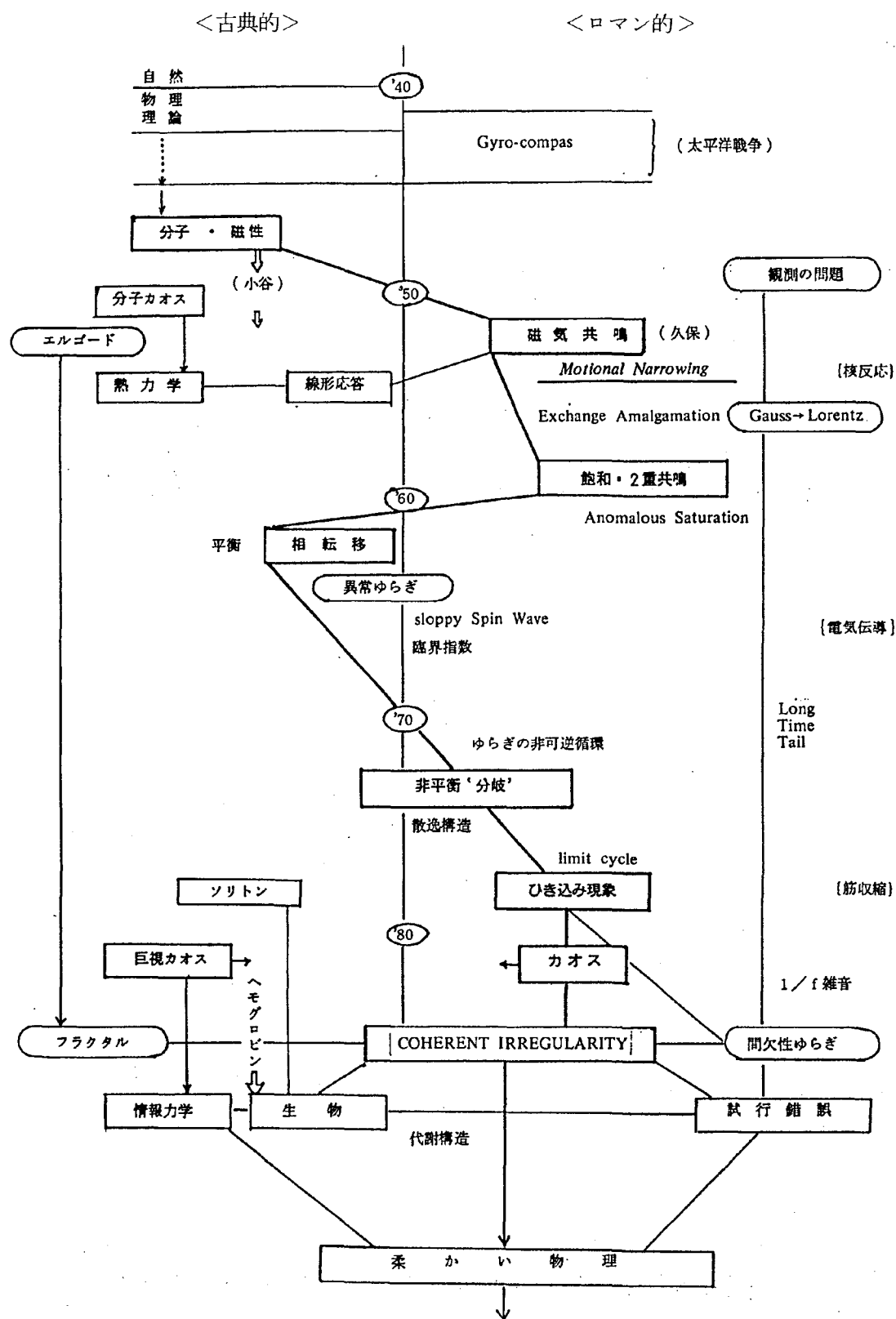


図2 私の見てきた物理 (年代と研究題目)

太字は著者がかかわってきた主要テーマを示す。

(縦軸：下方に向って年代が増す(円内は西暦年数)。

横軸：年代の鉛直線をはさんで、左側は古典的 (classical), 右側はロマン的 (romantic) な
発展段階という意味をもたせてある — 本文 § 2 - 4 参照)

はたしかに魅力ある方向で、当時からどんどん発展した分野であります。しかし、私自身は、それとは一寸違う方向に行くことになりました。—— すなわち、原子核磁気共鳴の実験の成功に非常に強い印象を受けまして、核スピンの問題に進んでいきました。もっとも単なる free な核スピンでなく、やはり凝縮相に埋め込まれた核スピンを考えるというのがこのへんの研究の特徴でありまして、スピンを担う原子核が密度高く埋まっているために信号がつかまりやすいという面もあった訳です。とにかくこの磁気共鳴の実験の印象は強烈でありまして、実験の出た直後にいくつかの理論がでました。よく知られているのが Bloch (Stanford 大) の現象論、すなわち速度論、これに対して少し遅れて Bloembergen, Purcell and Pound (Harvard 大) の相関関数 (correlation function) を用いた方法が出ました。Stanford の人達が裸の運動方程式からいくのに対して、Harvard の方法は二体相関的という訳です。

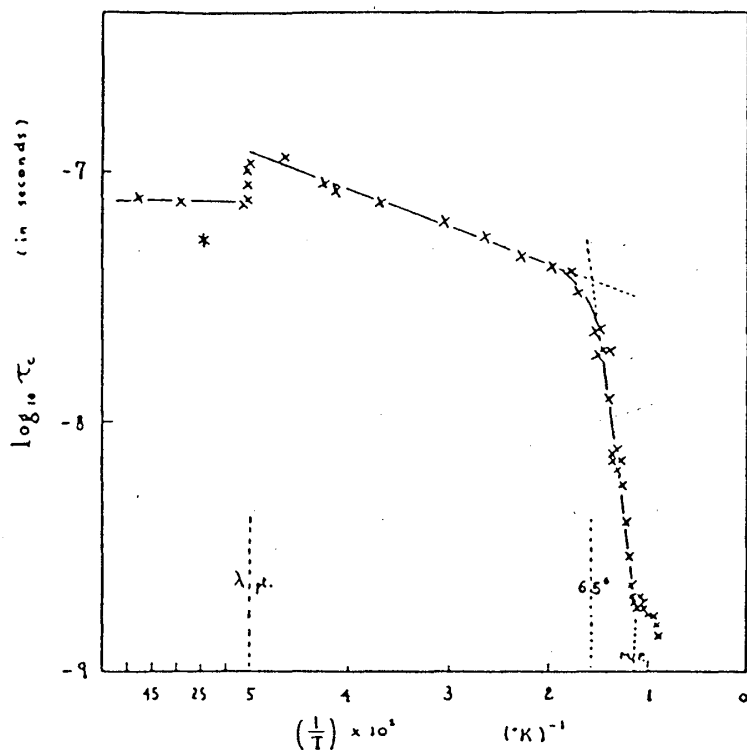
これに対して、Van Vleck (Harvard) が常磁性共鳴の幅を論ずるために出していた能率を用いる方法がここでも役に立つことが予想されました。これは、速度論的、あるいはstochasticな近似によらずに正確な力学的情報、すなわち吸収線の周波数モーメントは、低次のものであれば正確に計算できるという指摘であります。こういった種々の理論が、入りまじって新たな観測結果の記述と理解に用いられておりました。

この辺からの話は、年代を追ってトピックを書き込んだ第2図をみながら、聞いて頂くと、たどり易いのではないかと思います。

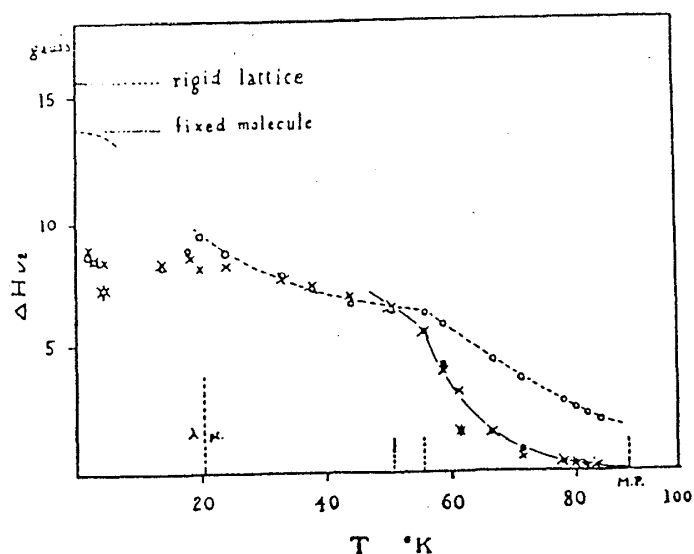
当時、磁気共鳴の提出した、一つの問題は、吸収線の motional narrowing (運動による狭小化) という言葉で今日常識的に知られております。共鳴吸収線の巾、あるいは形 (shape) として観測されるものは、磁気スピンの感じている局所場 (local field) でありますが、この局所場の大きさは同じでも、場が時間的变化せず止まっている場合と、時間的にゆれている場合とでは、観測される結果が異なってきます。それで結果の違いによって、磁気、スピンを荷うものがどういう運動をしているかということが実際に解析できる。—— これが motional narrowing の問題であります。

そもそも、私の関わった一番初期のことを少しだけお見せしますと、—— これは最近化学の山本常信さん達がやっておられた問題ですが、—— メタンという分子 (CH_4) の作る固体があります (1953a)。メタン分子 (CH_4) の形はかなり高い対称性をもっていますが、固体の中では、定まった方向に水素原子の角を4つ出して坐っているという状態と、ある程度温度が上がると、ぐるぐる回り出して、かなりまんまるに近い外見をもつ状態、との二つの姿が考えられます。この時、 CH_4 の4つのHには磁気能率をもった陽子が夫々埋まっておりますので、その陽子の磁気共鳴吸収をみていると、上記二つの状態のいずれにあるかが分ることになりま

す。例えば今第3図(A)を見ますと、横軸は温度、縦軸はスピン格子緩和時間ですが、対数目盛



(A) スピン格子緩和から定めた分子運動の特性時間 τ_c (温度依存性)



(B) スピン格子緩和から計算した共鳴吸収の半値巾 $\Delta H_{1/2}$ (温度依存性)

(白丸と破線は準静的局所場、黒丸と実線は運動する局所場、の場合いずれも理論値、×印は実測値を示す。) $-20^\circ K$ 以下では量子論的效果が現れている。

図3 核磁気共鳴から見た固体メタンの状態 (1953)

を用いておりますから、図の直線的部分は、その勾配によって与えられる励起エネルギー、すなわち高さ、の決ったある山をこえるという振舞を思わせます。さらに、温度 $T = T_c$ を境目にして、勾配、すなわち励起エネルギーが突然別の値にとんでいるということは、丁度、分子が固体の中で回転を始めたということに対応しています。こういうことが測定の上で判っきりと出てくるので、いろいろ追求したくなるわけです。第3図(B)は、今の解釈に従って、陽子共鳴の吸収線の幅を計算したものであります。これは実験に合せたのではなく、結晶解析から知られている隣同志の陽子間の距離に基づいて、陽子相互間の磁気双極相互作用による局所場の二次能率を勘定してえられた絶対的な幅の値です。静的状態の場合、吸収線の形はガウス型としますと、図のような吸収線が書けまして、その半値幅は実験結果とよく合うのです。そこで、温度をあげていきますと、先ほどのスピン-格子緩和が速くなったことに対応して、 $T = T_c$ で巾がせまくなります。もし、回転運動が起らなければ、低温分枝の延長線上をたどって行くと考えられるのですが、幅が急にせまくなっている。そういう訳で、磁気共鳴吸収線の幅をみると、温度を変えていった時、急に幅が狭くなる場合には、スピンを担う分子が動きだしたことを示す徴候と考えられる。——— そういう使い方があるわけです。これはなかなか面白い問題でありまして、その後、種々の場合に使われております。そういう現象に興味を持ちまして、続いていくつかの問題を手がけ、暫くの間、共鳴吸収線の形とか幅とか、そういう問題に入って行きました。——— メタンの他に、固体水素 (1953c, 1955a) もやりましたし、また吸収線の幅の周波数依存性のようなことも手がけました (1953e)。取扱いの方法としては、初期にはすでに述べた三つの方法、すなわち、現象論的運動方程式の方法 (Stanford)、相関関数法 (Harvard)、および能率の方法 (Van Vleck)、を併用して、事態の立体的な理解を目指しておりました。

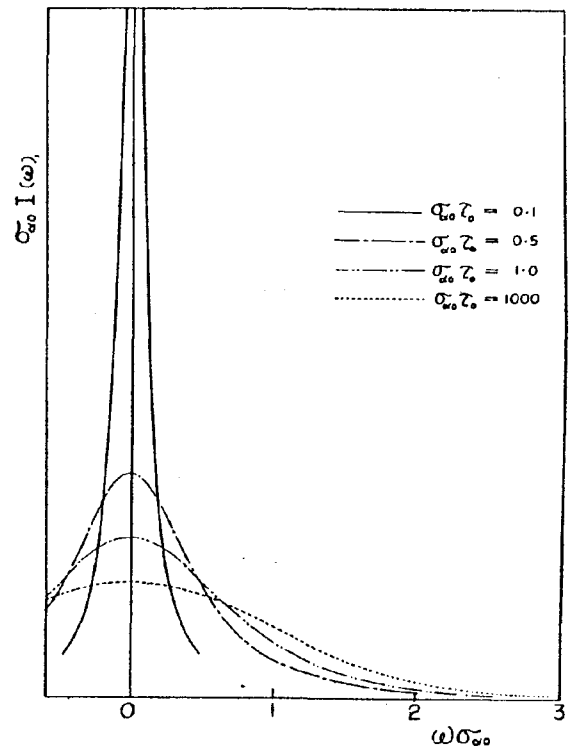
そこで、理論家の立場からみれば当然のことですが、こういういくつかの理論の相互の関係はどうなっているかということが問題になります。そういう訳で、この時期に、たまたま一般論的見地からこの問題に興味をもたれ久保さんと一緒に仕事をすることになりました (1953d, 1954)。この論文は、読まれた方もあるかと思いますが、「磁気共鳴吸収の一般論」という表題で、中身を言えば、ちがった形であたえられているいくつかの理論相互の関連を論じ、一方から他方への移行を可能にした論文であります。

この仕事の結果は第4図に示してあります。(A)には吸収線の形が、(B)では吸収の半値巾が、いずれも、次元のないパラメーター $\sigma_{a0} \tau_0$ の関数として示されています。ここに σ_{a0} は、磁気スピンに作用する局所的内磁場の本質的な大きさに相当する周波数であり、 τ_0 は外的な modulation により記憶が消失する局所場の寿命にあたる緩和時間です。すなわち、この図はい

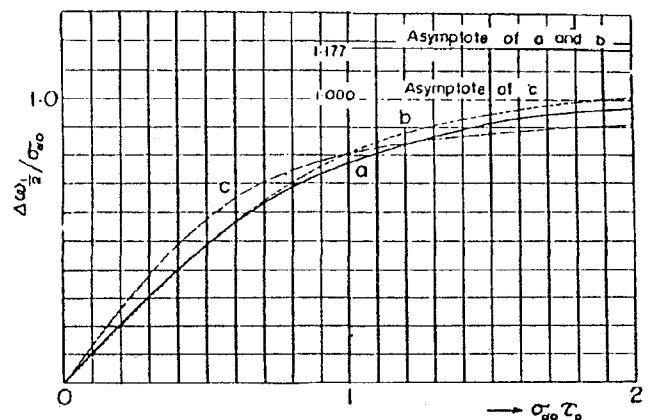
ずれも、外的な modulatory motion の緩和時間が短くなるに従って、吸収線の形が、幅の広い形から、幅の狭い形に連続的に移行する、いわゆる motional narrowing の様子を定量的に示したものであります。この結果は、極限の場合として、Van Vleck の扱ったように幅が本質的に σ_{a0} で与えられる場合と、Bloch の扱ったように、幅が $\sigma_{a0}^2 \tau_0$ で与えられる狭い Lorentz 形の吸収線がえられる場合の双方を含んでいるだけでなく、その中間の場合を合理的に表わしており、多数の実験の結果に対して、満足できる記述を与えています。

この仕事にたずさわって私が非常に魅力を感じたところは、—— スピンの担体 (carrier) 自身の性質が別に変ったわけではないのに、その担体が、どういう状態にあるかということが、観測の結果を左右する—— ということです。従って、観測される結果が違っているからといって、ことがらの本質が異っているというふうに短絡してはいけません。状況が違っていれば、同じものでも違った顔をみせる、そういう二段構えになっているということが、私にとって非常に魅力的でありました。この点は、すでに述べた総合的な理論を立てることによってかなり見通しがよくなりました。すなわち、この理論の中には制御できるパラメーター τ_0 がありまして、例えば温度を

かえてその値を変化させていきますと、相手が同じでも、場合々々によって、見出される顔の形や色が違ってくるということが導かれるのです。また、こうして順序を追って観測の構造を



(A) 吸収線形 $I(\omega) - \sigma_{a0} \tau_0$ の値をパラメーターとして motional narrowing のいくつかの段階を示す。



(B) 吸収線の半値巾 $\Delta \omega_{1/2}$ ($\sigma_{a0} \tau_0$ の関数として)

図4 磁気吸収線形の一般論 (1954)

σ_{a0} : 2次能率から求めた永年の局所場

τ_0 : 外的 modulation の特性時間

考えて行けば、結果として本質的なものを抽出することができる。あるいは、逆に、本質的なものを知って出発すれば、その置かれた具体的な状況と、その変化を知ることができる。——
 そういう二段がまえになっているところは、私に言わせれば、観測理論と深い関係がある。そういう訳で、研究の初期に私が非常に強い興味を持ったのがこの motional narrowing の問題で
 ありました。

ところで、この論文を書いた後、久保さんは線型応答の一般論という方向に行かれましたが、私の方は、外国に出ていたこともあって、さらに磁気共鳴そのものの問題に深入りして行きました。その一例は、共鳴吸収線の周波数依存性 (frequency dependence) の問題です (1963c)。一つの具体例として、 $K_2CuCl_4 \cdot 2H_2O$ の場合が第5図に示してあります。幸い、この物質に

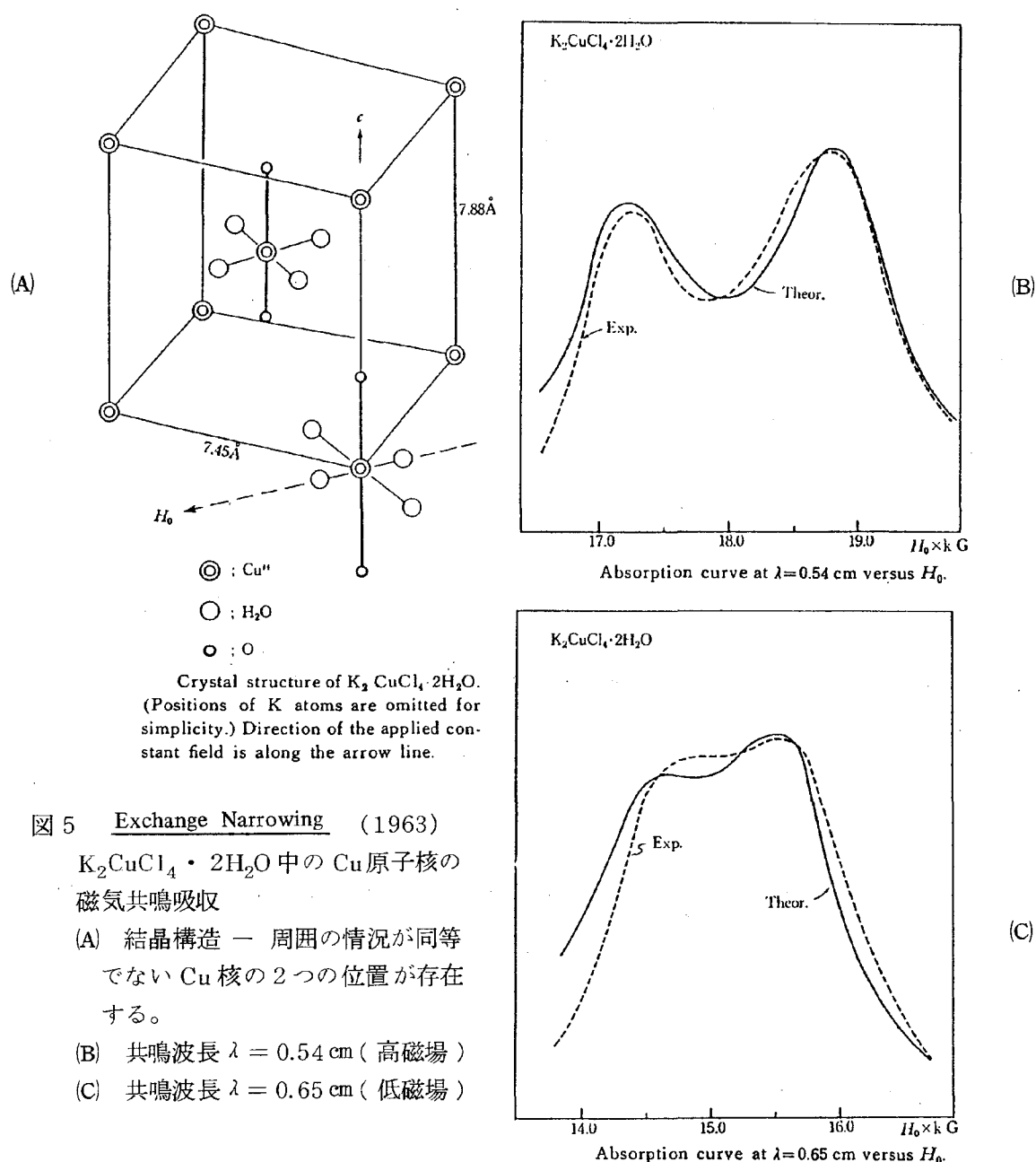


図5 Exchange Narrowing (1963)

$K_2CuCl_4 \cdot 2H_2O$ 中の Cu 原子核の
 磁気共鳴吸収

(A) 結晶構造 — 周囲の状況が同等
 でない Cu 核の 2 つの位置が存在
 する。

(B) 共鳴波長 $\lambda = 0.54$ cm (高磁場)

(C) 共鳴波長 $\lambda = 0.65$ cm (低磁場)

についてはX線解析から、図(A)のような結晶構造が分っていますから、いろいろ基礎的な量が全部計算できます。それを dynamics に入れ、グリーン関数の連分数表示を利用して、理論的な吸収線の形を計算しました。その結果、第5図のように、理論と実験がかなりの程度よく合います。次に、かける電磁波の周波数を減らして共鳴吸収をとった場合を計算しても、同程度の一致が見られます。この場合、吸収線の構造、あるいは形も違ってきて、広がっていた吸収線が横から押され、幅が狭くなっていると見ることができます。この時、吸収線の二つのピークの間隔、また巾の主要部分は、図(A)にみるように同じ原子核（この場合はCu核）でも、その置かれた結晶中の位置に二種の異った環境があることから生じており、その大きさは外磁場 H_0 に比例し、従って共鳴電波の波長 λ に逆比例する性質があります。この二種の原子核の間には電子雲の道が出来ていますから、これに沿って電子の状態は伝わっているのです。二種の核の見ている環境を平均化しようとする傾向が存在し、その大きさは量子力学的な交換結合 (exchange coupling) の強さ J として表現されます。すなわち、共鳴磁場と交換結合はその大きさを競っているわけで、前者が勝てば個性のことなる2本のピークが顕著にみられ、後者が勝てば、2本のピークが区別しにくくなって、吸収線の巾は狭くなります。motional narrowing に対して、この現象を exchange narrowing と呼ぶことがあります。

この傾向が極端まで進めば、2本見えていたピークが1本になってしまうこともある。第6図にその具体例が示してあります。これは有名な硫酸銅の例ですが、硫酸銅の中には、環境の違った銅 (Cu) の原子核が2種類あるのです。しかし、その2種類の核は、交換相互作用で結ばれているために、この相互作用が外磁場に対して相対的に強くきくようになりますと、共鳴吸収は一本になってしまう。つまり、平均化がおこるわけです。第5図にはそういう状況がみられており、特に exchange amalgamation と呼ばれます。

§ 2-2. 飽和現象から臨界現象へ

その後20年、核磁気共鳴現象は、原理的研究の段階をへて、今日では技術の最前線で応用的に用いられるようになりました。例えば、今日では、NMR-CT (Computer Tomography) というものが出来て、核磁気共鳴信号の結像が可能になり、X線に代って脳の中の断層写真を撮ることが出来るようになりました。これは細胞中の陽子の核磁気共鳴を利用して、脳の断面像を結像 (Imaging) させている訳で、波長領域の違いからX線のような人体に対する障害を心配する必要が全くありません。医学では NMRI という略称ができたそうです。

しかしながら、このような応用的進展が現れてきた年月の間、私自身が理論的な関心をもって来た事柄はやゝ別の方向にありました。先程、久保さんが、線型応答の一般理論の方向に進

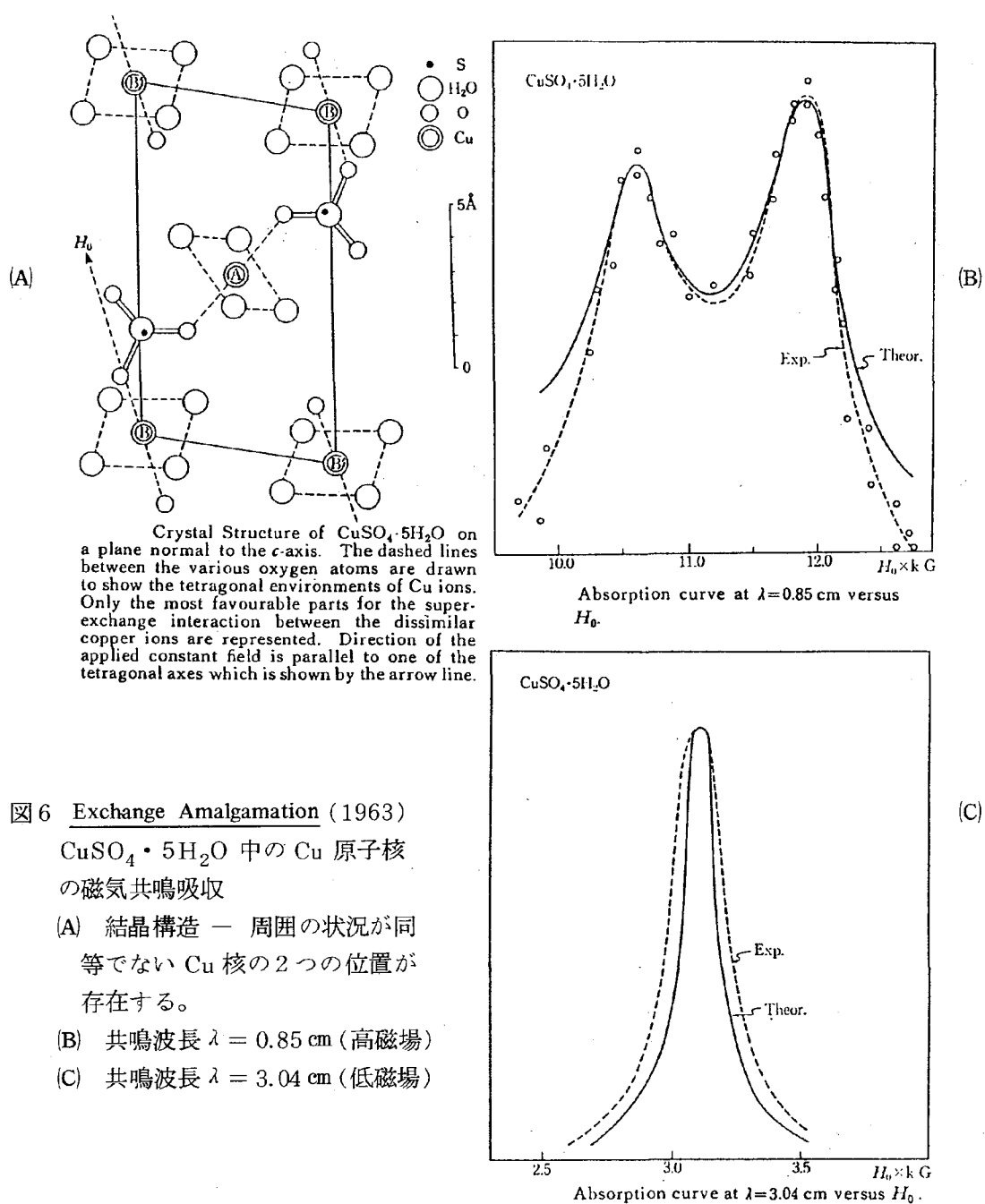
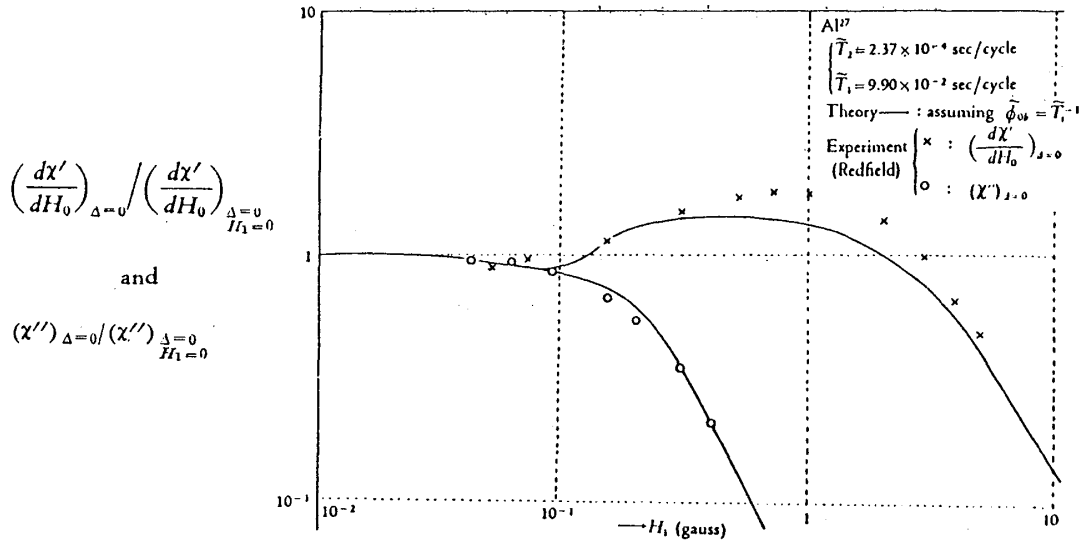


図6 Exchange Amalgamation (1963)

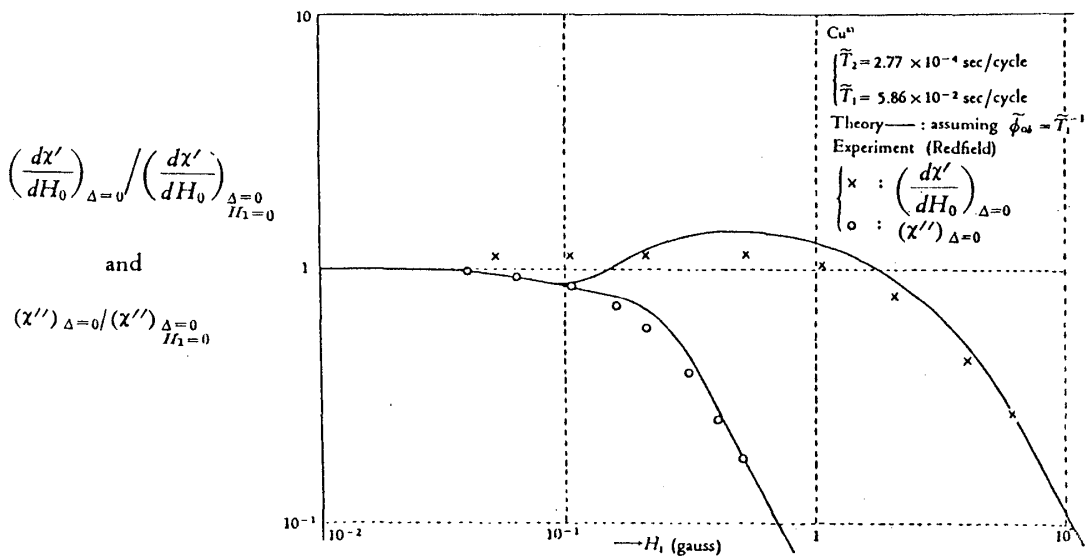
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 中の Cu 原子核
の磁気共鳴吸収

- (A) 結晶構造 — 周囲の状況が同
等でない Cu 核の2つの位置が
存在する。
- (B) 共鳴波長 $\lambda = 0.85 \text{ cm}$ (高磁場)
- (C) 共鳴波長 $\lambda = 3.04 \text{ cm}$ (低磁場)

まれたということを申しましたが、私自身はむしろ非線型問題に興味を向けたのです(1958 a, b)。その典型的な例は、共鳴電波の強度を上げた場合におこる共鳴の飽和 (saturation) という現象です。ごく簡単な場合は、共鳴電波を強くすると、幅がひろがって吸収はつぶれる、いわゆる saturational broadening、という現象が起るのですが、条件によっては、必ずしもそうならず、種々の異常効果が現れます。例えば、 motional narrowing によって十分狭くなった吸収線ならば、飽和によって寿命を縮める効果が broadening となって現れるのですが、局所場の平均化が余り進んでいない場合には、共鳴電波自体によって、新たな平均化が加わることになり、



(A) 金属アルミニウムの場合



(B) 金属銅の場合

図7 共鳴飽和の一般論 (1958)

金属における異常飽和 — 吸収の中心周波数 $\Delta = 0$ における分散の微分 $\left(\frac{d\chi'}{dH}\right)_{\Delta=0}$ の飽和が吸収 $(\chi'')_{\Delta=0}$ の飽和に対して著しくおくれることが特徴。

この特徴を理論曲線はよく表わしている。実測値は Redfield による。

そういう場合には飽和によって巾が狭くなるという現象 (saturation narrowing) が見られます。第7図は、こういう事態に関連して Redfield が見出した金属アルミニウム、および銅における異常効果の典型的な例ですが、私の理論からも同様の結果を導きうることを示されています (1958a)。

非線型問題に興味をもったのは、勿論私一人ではありませんでした。例えば、周波数領域は違いますが、その後 N. Bloembergen 等が入って行きましたように、非線形光学という方向の

発展があり、その発端は正しく非線形核磁気共鳴の問題にあったのでした。

ところで、私自身は、実は、非線形光学に行けば行けたという気がしないでもないのですが、一寸した理由があって、非線型問題ではありますが、かなり違う方へ進むことになりました。

理由というのは、こういうことです。そもそも初期の仕事の中で、回転転移のような相転移を核磁気共鳴の信号によってとらえるということに興味をもったことを述べましたが、この場合、核スピンはいわば接触系としての試験体であり、自分自身が order している訳ではない。また飽和現象もある程度までは外場の非線形効果と見なすことが出来ます。^{*} これに対して、スピン系自身が実際に相転移を起す場合を考えると、これは内部的・本質的な非線型問題になっているわけです。そこで私は、外部的・接触的でない内部的な非線型問題をのぞいて見たいと思いました。そういうことで、極めて古典的な問題なのですが、私は相転移の動的な振舞の研究に入って行きました。当時、電波だけではなく、原子炉から出てくる中性子の散乱を用いて磁性体をみるのが新たに行なわれるようになりまして、磁性体内の細かい励起が次々に見出され、それを説明したいということもあって、川崎、富田等の諸君と、平衡相転移の動的な側面、いわゆる臨界緩和 (critical relaxation) の問題に入って行きました (1970, 1971)。グリーン関数を扱うのに、連分数法とか、能率法とか、いろいろ併用してやりましたが、御承知のように、これは堅い食物でありまして、充分かみ切れるところまで行くのに時がかかりました。当時、一方では、繰り込み群の方法が展開されつつありましたが、これは或る意味で現象論ですから、我々は現象論ではなく、例えばグリーン関数のような第 1 原理から出発して、現象論、すなわち繰り込み群、の結果を計算によって確かめようと計画しました。具体的には、高階のグリーン関数を波数 k 、周波数 ω に依存する能率を用いてガウス近似するという方法を用いて、えられた成果の一つとして、転移点における減衰係数の振舞いを第 8 図に示してあります (1971a)。波数についての対数表示によって見易くなっていますが、波数 k で指定される擬協同モード (quasi-collective mode) の減衰係数の波数依存性は、強磁性の場合も反強磁性の場合も、繰り込み理論の結果を支持していることがわかります。

この協同モードを取上げることには、もう一つの意味があります。すなわち、秩序相にはスピン波という協同モードのあることが知られていますが、これは低温の極限近くで出て来る励起でありまして、温度が上ってキュリー一点に達すると、消えてなくなって、無秩序相が生ずるのだ、と思われてきたのです。しかし、実は中性子散乱によって、一般にはそうでないことが分りました。キュリー一点近傍になれば、一様モード ($k = 0$) は消えてしまいましたが、波長有

^{*}) これを文字通り単純にとつてはいけないことは、勿論 Maser 効果の存在によって、今では明らかである。

限のモードは必ずしもこの点では消えず、かなり長く生き残っていることが分ります。この意味で、波長有限の立場からみますと、相転移というのは必ずしも不連続的現象ではなく、順次に移っている。そういう側面が見られるのです。このような波長有限の残留モードは, sloppy spin waves とか, paramagnon とか、いろんな言葉で呼ばれ、相転移の動力学的背景をうかがわせる重要な資料になります。

第9図は RbMnF_3 の場合に観測された擬協同モードのデータ (○印) と純理論から計算した曲線とを比較した一つの例であります (1971b)。これは調節するパラメーターなしの計算ですから、細部の構造は別として、強度、幅、線型の特徴 (肩がいかっている) 等を、かなりよく再現していると言ってもよいように思います。そういうわけで、私は相転移近傍の動力学的異常現象に相当の期間と取り組んでおりました。しかしながら、相転移の現象というのは、昔から有名な難問でありまして、一筆書きですつと分るというようには、なかなかいきません。非常に複雑な計算をして結果に到達しますが、現象論ならばともかく、原理的にどういう意味を持つのかということ直観的に把えることは、必ずしも容易でないという悩みがありました。

しかし、私の研究は、思わぬ外的事情のために、ここで一つ段落がおかれることになりました。実はここに「大学紛争」というのが入ってくるのです。この混乱の間、思いがけず私は、研究室を出て学部全体の世話をせねばならぬ立場に立たされることになりました。——そこで2年経って研究室にもどった時、私の印象では周囲の諸君は研究の上では一歩先へ行って居られるように見え、私自身は方

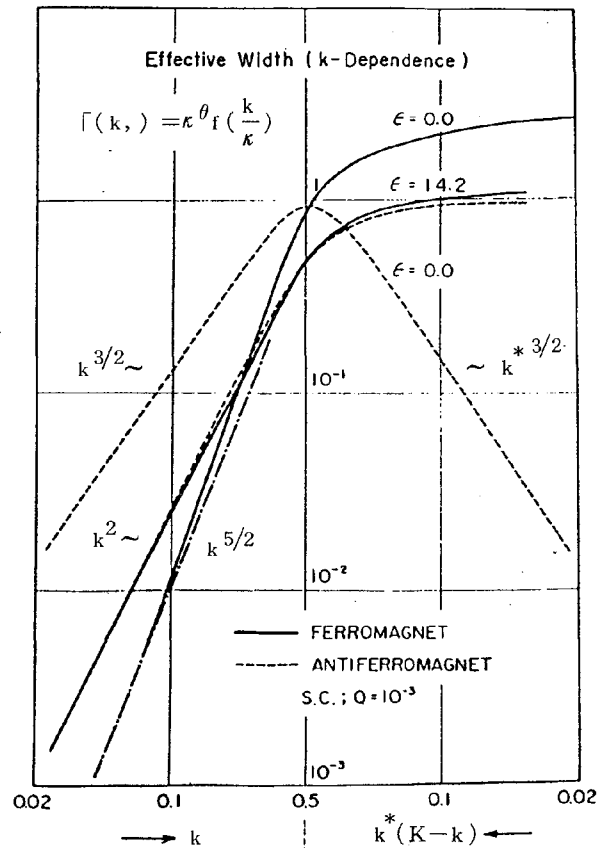


図8 臨界磁気緩和 (1971)

強磁性体 (反強磁性体) の相転移点における減衰係数を運動モードの波数 k ($k^* \equiv K - k$) の関数として示す。対数表示のため図の直線の勾配から、直接臨界指数がえられる、結果は相似則の予言と一致する。

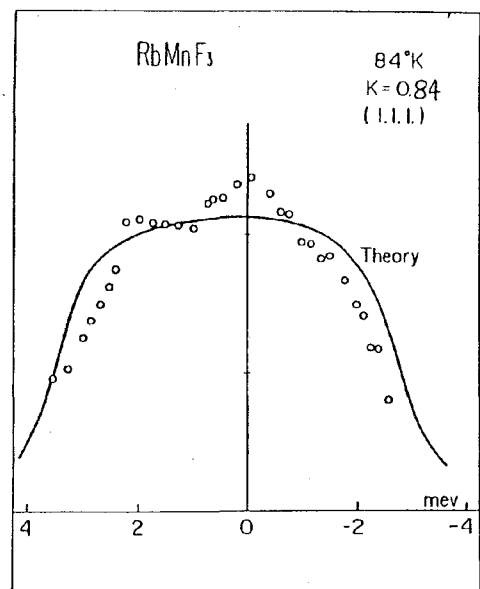


図9 Sloppy Spin Waves (1971)

RbMnF_3 における中性子非弾性散乱 ($T = 8.4\text{K}$, $\Delta K = 0.84$) 理論曲線は面積のみ調節して合せてある。

向轉換の必要を強く感じました。

§ 2-3. 非平衡開放系 — カオスに会う —

そこで、今から考えて見ますと不思議に思われますが、他ならぬ大学が揉めていたこの時期に、私にとっては、学問的轉換の一つのきっかけとも言うべきものが与えられました。これは紛争の最中のことだったのですが、学部を訪れて、話をされた英国の学者に A. L. Hodgkin という人がいました。この人は A. F. Huxley と共に生体膜とか、筋肉のことをやられた有名な研究者です。残念ながら、私は、公務のために、その講演は聞くことが出来なかったのですが、世話された方々の心遣いで、たまたま Hodgkin 氏がのこして行った講演の原稿が私のところにとどけられました。私は、学部長室で暇が出来た時に、早天の慈雨のような思いで、むさぼるように、この原稿を読みました。—— 何よりもその内容が私には新鮮で面白かったのですが、そのほかに、「ここで例をあげる」、「ここでジョークをはさむ」、とかいう細かい書き込みがあったりして、英国人が講演のために準備をする綿密さに感心した覚えがあります。—— そこで、この論文に刺激を受けて、生体膜の現象についていろいろ文献をさがして来て読んだり、考えたりしはじめたのですが、気が付いてみますと、こういう話は、全て完全な開放系の話で、外から駆動を受けている。また、それだけでなく、輸送 (transport) というけれども、受動輸送 (passive transport) ではなく、能動輸送 (active transport) が問題になっている。そういう現象は我々が従来習って来た、熱平衡、もしくはその近傍の話とはひどく違っているではないか。

そういう事に気づきまして、私の関心が突然、といってよいほど判然とそちらの方へ向いて行くことを感じました。さらに、平衡状態における相轉移の問題はすでにかなり多くの方がやっておられることが念頭に上りまして、そのころから平衡状態の相轉移ではなく、平衡を遠く離れた状態での相轉移類似現象というものに首を突込んで行くことになりました (1975a)。

そして、これは前にもお見せしたことがある図ですが、一つの模式的な図 (第 10 図) をみて頂きます (1979b)。この図では、垂直上向きの矢印で示してあるように、上に行くほど対称性が高くなっております。先ず垂直上向の矢印の左側にかいてある平衡状態を見ますと、ここでは磁性の言葉を用いていますが、強磁性よりも常磁性の方が対称性が高い。そして、温度を下げていきますと、常磁性の状態から強磁性の状態に移る。—— パターンのない状態から強磁性 (一方向にそろった) というあるパターンを持った状態に移っていると考えられます。

これと、ちょうど対応させて、上向矢印の右側には非平衡の場合の状態変化が示してあります。これは開放系ですから、内容はちがっていますが、それにも拘らず類似があります。平衡の場合の温度 (～エネルギー “密度”) に対応して、非平衡の場合には外部からの駆動力 (も

しくは注入される流れの“流束”)を横軸にとりますと、順次に相転移を思わせるような現象がおこります。たとえば、器に入れた流体を、単純に底面から温めていきますと——すなわち、熱の流入束を増して、図上を右へ進む訳ですが——対流現象が起ります。これは速度場として見れば一種の空間的なパターンでありまして、ちょうど平衡の場合の強磁性相にあたっています。平衡ならば、低温の極限は、一般に、何かの意味のパターンで終わりますが、非平衡の場合には、その先がありまして、パターンがさらに変化して巨視的な振動状態が現われます。さらに、振動状態も、はじめはきれいな振動状態ですが、やがて流束の値があるところから右へ進みますと、回帰性をもつという意味で振動的ではありますが、不規則な運動が現われます。

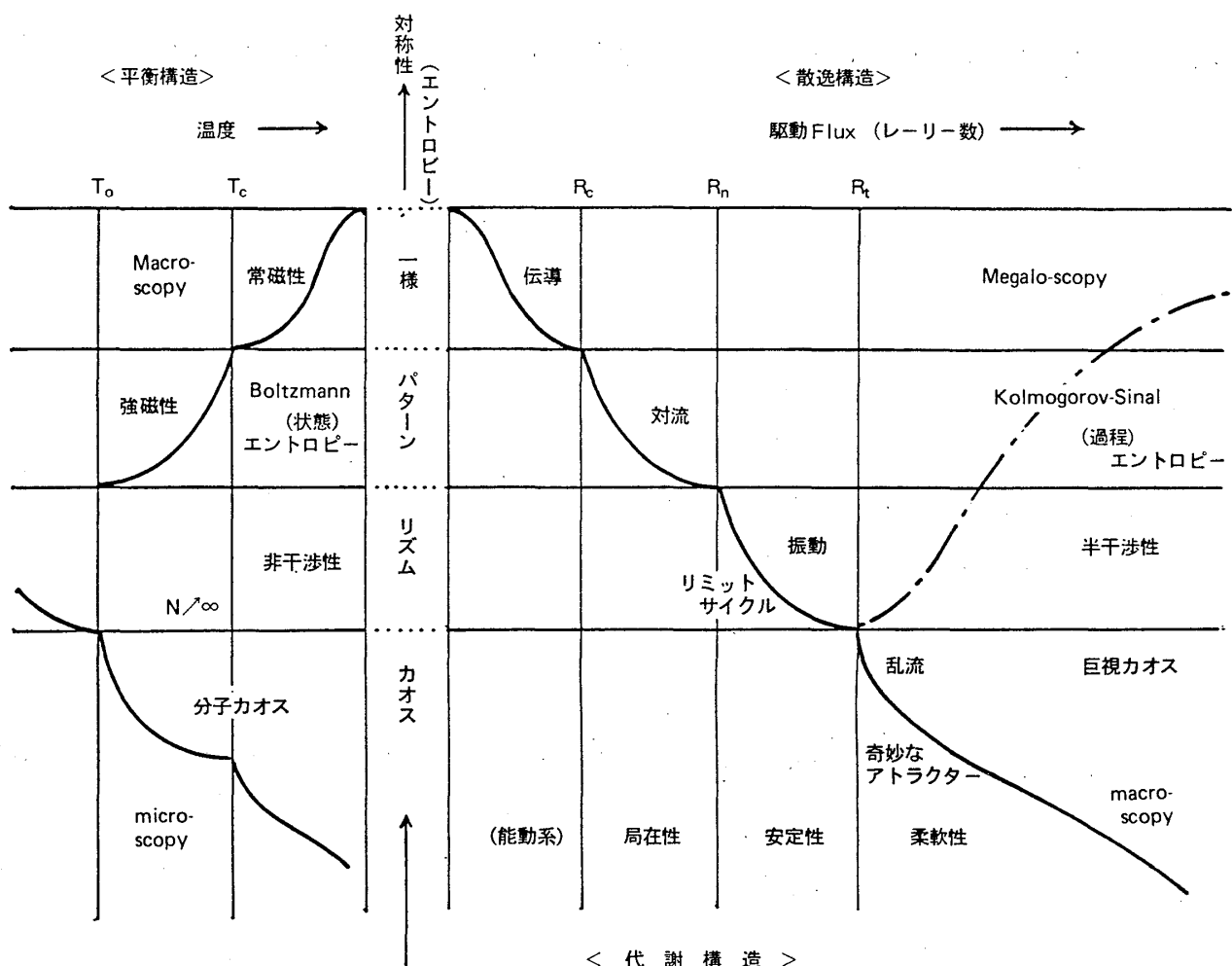
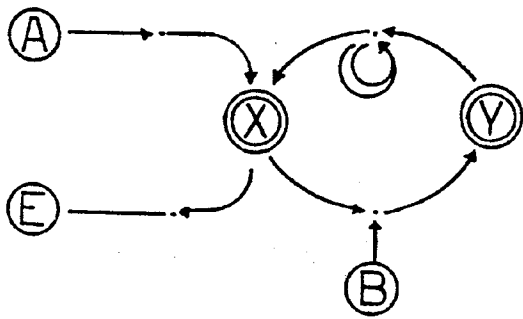


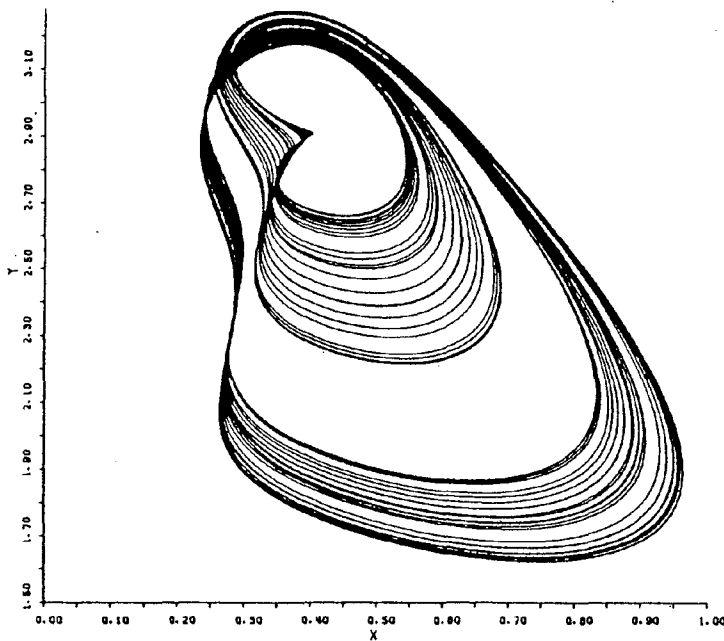
図 10 非平衡開放系 (driven system) における散逸構造の種々相

(生物の場合には、さらに閉じた表面膜に囲まれた“代謝構造”を考える必要がある)

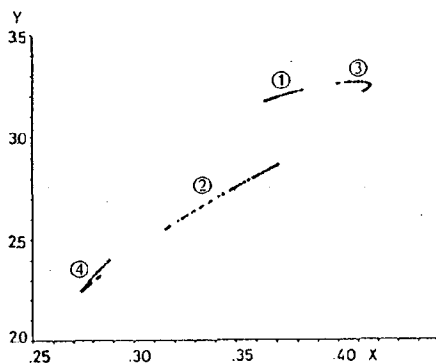


(A) ブラッセル 模型

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X^2Y - BX + A - X \\ BX - X^2Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a \cos \omega t \\ 0 \end{pmatrix}$$

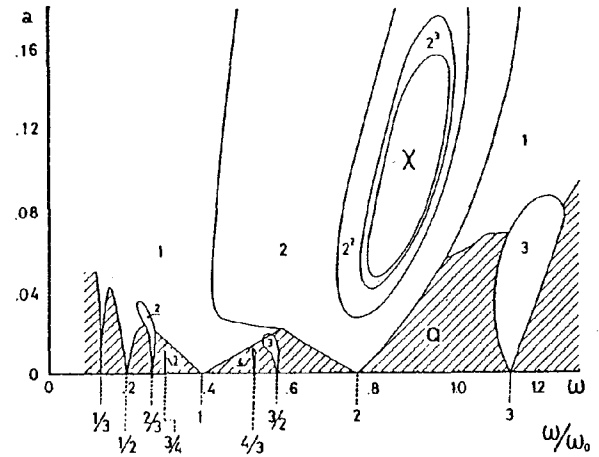


(C) phase portrait の一例 — chaotic response

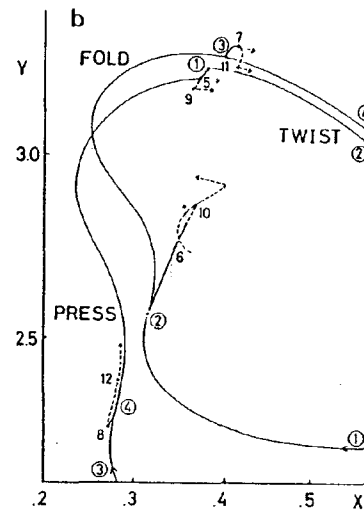


(E) Poincaré 断面 —

ストロボ表示で(C)から抽出した不変集合、4点でなく大きさのある4つの島になっていることが、カオスの存在を表わしている。



(B) 相図 — 外部駆動の振幅 a (縦軸) と周波数 ω (横軸) の平面で出現する相領域で分類してある。数字はひき込みの型を、Q領域は多重周期性を、 χ 領域はカオスを示す。



(D) カオス発生機構 —

Phase portraitの一部を示す。ストロボ表示により不変集合のえられる様子を示す。

図 11 非線型振動系の強制振動におけるカオスの出現 (1978, 1979)

第 11 図には、対流とはちがった場合ですが、簡単な非線形系の強制振動を扱って、我々がえたこの種の不規則運動の一例を示し、その不規則性を表示する幾つかの方法をも示してあります (1978b, 1979g, 1982c)。これは、図(A)のような簡単な (X, Y) 2 自由度の反応系ですが、自己触媒作用があるので自励振動が起ります。この振動に加えて、外から供給する物質の濃度に $A = A_0 + a \cos \omega t$ のような周期的変化を与えて、2 つの振動を競合させると、図(B)のような様々な相が現われますが、中でも興味深いのが、 χ の領域にあらわれる不規則振動 (chaos) です。この領域での (X, Y) 面の軌道は図(C)に心されていますが、全体として各々周期的であるのに、1 周しても完全には元に戻らず、ずれて行くことが図(D)に示されています。最後に等位相の断面 (Poincaré 断面) だけを見れば図(E)がえられますが、この図が周期運動に相当する 4 つの点でなく、4 つの“島”から構成されているという事実が、カオスの存在による非局在化 (delocalization) を示しています。これはある意味で、流体の乱流現象の原形とみられるモードですが、流体より遙かに自由度の小さい系で見られることが重要で、決定論的な系の非周期運動、あるいはカオス (chaos) と呼ばれています。

何故、平衡の場合にはなかった多様なモードが見られるかと言えば、非平衡になりますと、時間の反転に関する対称性 (L. Onsager 1931) が破れるために、巨視的な振動が発生しうることとなり、その振動の中でも、駆動束 (driving flux) を大きくして行けば、規則的振動が自然に不安定化して、不規則的な振動が起るのでありまして、完全にきれいな、雑音入力のない system でも不規則な振動が起り得る、ということが分ってきました。こういう問題は、種々の分野で、最近、重要な関心事となりつつあります。

まず、あまり詳細に立入ることはできませんが、「揺ぎ」 (fluctuation) の立場から非平衡の相転移を考えて見ることにします。普通の熱平衡の場合ですと、揺ぎのスペクトルは多くの場合ガウス形をしているということが分っており、従ってその二次能率が分っていれば、凡てが記述できるわけです。相転移は、しばしば、この二次能率の発散による揺ぎの不安定化と関連づけられることは周知の通りです。しかしながら、平衡を離れますと、たとえ形はガウス型に近くその分布自身が自転を起す —— 一般に、そういう状態が出てまいります。そこで、形を定める二次能率は有限でも、そういう自転が不安定化するという現象が起りうることにあります。—— そういった回転揺ぎが不安定化すれば、マクロの周期運動になって現われることになる。これは丁度、受磁率 (susceptibility) が発散して磁化 (magnetization) が現われてくるといふのとよく似た現象であるわけです。この様にして、巨視的な極限周期運動 (limit cycle) が現われるというわけですが、そのあたりになりますと、揺ぎの記述は必ずしも熱雑音に準じて行いうるとは言えなくなります。それは、二つ以上の極限周期運動が相互作用によって、互いに

引き合う場合には、揺ぎを含めて強い影響を受けることになるからです。このような場合、結果として素朴な予想を立てれば、二つの事態が考えられます。第一の極限はいずれか一方の振動の影響が際立って強い場合で、いわゆる引き込み現象 (entrainment) が起り、二つの周期運動が互い同期 (synchronize) して、一種類の振動になってしまう事態です。もう一つの極限の場合は、結合によって引き込んでしまうには互いの個性が強すぎて二種類のモードが共存している事態であり、多重周期性 (multiply periodic) あるいは擬周期性 (quasi-periodic) の運動とよばれます。

ところで実際には、この二つの場合だけでなく、その中間に二つの振動が適当にかかわって、適当に独立である、どちらともつかない事態が発生する場合があります。—— この場合、時間的経過を観察すると、いずれの振動にも非常に近い時間領域が見えますが、長つづきせず他の振動に近い領域と不規則的に交代する —— すなわち、既にふれたように、乱流 (turbulence) の原型ともいえるべき chaotic な状態が現われます。大切なことは、これが決して外的な乱れに由来するのではなく、純然たる決定論的法則から出てくる不規則運動であるということです。このような現象は、ある意味で従来の素朴な予想を裏切る訳で、私自身にとっては非常に revealing であり、面白くて、最近熱中しております。

ところで、このような意味で出てきた不規則振動というのは、いわゆる熱運動に由来する白色雑音 (white noise) とは著しく異なる性格を持った不規則運動であることが、最近、明らかになりつつあります。白色雑音なら、いずれの周波数も同等の発言権をもっているわけですが、chaos の発生に伴って現われる不規則運動では、しばしば低周波側に向けてスペクトル強度が際限なく増していくような振舞がみられます。低周波側が上っているということは、それだけ長周期の記憶が残るということです。しかし、いうまでもなく、正確な記憶ではなく、減衰して行く、記憶の喪失と保持との中間的な振舞がみえてくることになります。これは、私の言葉で言えば、干渉的不規則性 (coherent irregularity) とでも呼ぶべき事態です。通常は、干渉性あるいは統計性の一方のみを残して論ずることが多いのですが、そうするためにはそれを保障するような物理的背景がなければなりません。今の場合には、干渉性だけでも、統計性だけでも十分な記述を与えることは出来ない。その丁度中間にあたるうまいところがありまして、自然の中にはそういう事態の例が数多くあると思われるのであります。

この辺までが今日現在の事態ですが、ここで将来の夢を付け加えて申しますと、第一に、最後に述べましたような干渉的とも統計的ともどっちつかずの中間的振動状態というものが、生物学的な生体過程、あるいは生物の示す応答の柔軟性というものと、密接な関係があると私は考えております。第二に、このような干渉的不規則性が純然たる決定論から出てくるというこ

とは、一より一般的な意味で、いわゆる観測ということに根本的な制限を与えるものであります。しかも、ここで述べたような意味の制限は、実は量子力学の観測理論でも論議されていない問題でありまして、今後、観測の問題をより根本的に考える場合、どうしてもこれは問題にしなければならないのではないかと考えております。

§ 2-4. 振り返って

以上、私自身の経験に即して述べて来ましたが、私の見て来た物理の展開は、はじめに出した第2図によってもう一度振返って頂けば分り易いのではないかと思います。

ごく大抵めに言えば、—— 分子構造 → 核磁気共鳴（線型応答） → 非線型効果 → 磁気相転移の動力学 → 非平衡相転移 → 引き込み現象 → chaos —— というような順序になっているわけですが、第2図において、これらのテーマを左半、右半に分けて書いてあるのは、一つの意図が背景にあって、問題の性格を分類してあるのです。その話を、ここでつけ加えておくことにしましょう。

まず、前置として少々古い話をします。これは、私が30年前Oxfordに留学していた時のことです。Oxfordでは教授になる時に就任講演 (Inaugural Address) ということが行なわれまして、就任の上は、こういうことを研究して行く心算ですという施政方針演説を行います。私はたまたま George Temple という人の就任講演をききました。流体や、量子力学をやっている方は御存知かも知れませんが、この人が数学教室 (Mathematical Institute) で教授就任講演をやりました。その時の講演の題が、‘Classical and Romantic in Applied Mathematics’ という題でありました。これは理論物理学の全般に関する話でしたが、その内容は —— 学問の進歩には、古典的 (classical) な面とロマン的 (romantic) な面と両面が必要である —— という趣旨の話でありました（注8）。古典的な面というのは方法論的にきちっと確立しておりまして、この道に沿って前進していけば、どこへ到達するという見当がついている。労力は要するけれども、ある意味で悩まず演繹的に前進することができる、—— そういう段階を指しております。

ところで、学問の進歩は必ずしもこういう段階だけではない。若い人が出てきますと、古典的な前進には必ずしもあき足らない場合が生じます。また、学問自身として思い切って若返らなければならない段階もあります。そのような場合、意味の不明なものの意味を問いながら、様々のものが混って混沌としているけれども、その中から新しい現象を見つけ、その新しい現象の直観的解釈から出発する。それが新しい意味をもつかどうかは、後から古典的な方法で確かめればよいではないか。—— そういう段階もある。Temple 教授はこれをロマン的 (romantic) という言葉で表現しました。そして学問の前進にはこのような両面が必要であることを非常に

明快な形で述べられたわけです。

研究というものが必ずしも一本調子で進むものでないという指摘に、その時私は目をひらかれる思いがしました。これは、私が自分自身の問題をもっていたからでありまして、この話を聞いた時に、自分の身につまされて、一つのことを感じました。それはこういうことです。

—— 私自身が訓練を受けた分子構造の分野は、当時研究の段階はいわば古典的で、方法的には問題が少なかったように思います。ただ計算の困難と結果の簡単な意味が捕えにくいというようなことがありますて、実はあまり楽しまなかったのです。これは、自分が若いのに不心得かも知れないと思っていましたが、この Temple の話を聞いて成程と思いました。さらに、話を後年のことに繋げば、ずっと後になって、ある時、他ならぬ小谷正雄先生が —— 分子構造論の分野というのは、方法はしっかりしていて、やることはいくらでもある、やっただけ前進もする。しかし、どこか他の分野と isolate しているような気がするが、これでいいんだろうか —— そういうことを先生がちょろっと言われました。これを聞いて私は、悩んでいたのは私だけでなかったことを知り、始めて安堵の胸を撫で下したことを思い出します。

そういう訳で、分子構造論と対比して言えば、核磁気共鳴の問題は、当時やっと手がつけられたホヤホヤの現象でありまして、実験的にも、理論的にも緒についたばかりの段階でした。

—— その中に何が入っているか。手を入れてさわれば新しいことがどんどん出てくるが、その意味はまだあまりはっきりしていない。そういう、非常に熱しているが未確定な面を多く含んでおりまして、Temple の言葉で言えば romantic な段階にあったと言えそうに思われます。

—— だから、自分は分子構造論の古典的な phase からロマン的なものに惹かれて、核磁気共鳴の方へ入って行ったんだなと思います。（小谷先生も生物物理に進まれました。）

そこで、そういう見方をするとすれば、その後に現われてきた相転移という問題は、ある意味でかなり古典的なもので、もちろん新しい実験事実はありませんでしたが、すでに（注8）に述べた久保さんの分類に従えば0族に近い、古典的でなかなか歯のたたぬ難かしい問題であります。私がある期間相転移の問題に深入りしていたことは、すでに述べた通りですが、その後、また多少 romantic な分野にもどってくることになりました。これは学問自体進展にもそういう波があるのかもしれませんが、とに角私自身は何時までも、ハンコで押したように一つの専門を続けにくいたちでありまして、その時、その時に様々の問題意識をもちながら右したり左したりしてきたという感じを持っております。

そこで、もう一度第2図をみて頂きますと、上から下へ時間が進展していることは自然に分りと思いますが、もう一つ、左右を意識的に区別しておりまして、左半分が古典的、右半分がロマン的と考えてご覧いただきたいのです。すなわち、左から右へ移るといえるのは一つの転

換、右から左へ移るというのも一つの転換で学問のその時点での性格が変化したことになります。

それで、その転換がどういう時点で起っているかということに着目して見ますと、第一の分子構造から核磁気共鳴への移行は東京から京都へ移った時点(1951年)の前後におこっております。第二に、核磁気共鳴の外的非線型性から相転移の内的非線型性への移行は、今度はじめて気付いたのですが、いわゆる60年安保の時代と重なっております。その頃は、岡本道雄氏等と一緒に学生部員をしており、徹夜の交渉といったえらい経験をした覚えがあります。実は、その時期に研究の方向としてもかなり転換が訪れております。

それから第三に、平衡相転移から非平衡相転移への移行は、すでにふれましたように、70年代の初頭の大学の混乱の時期と重なっております。

そういうわけで、善し悪しは兎も角として、私自身は必らずしも書斎に閉じこもっていることが出来ず、職務上の巡り合せとはいえ、かなり外界の出来事の影響を受けて学問をしてきたということが分ります。ただし、その影響が、学問を押しつぶすように働いたかと言えば、これは別問題でありまして、外界の大きな出来事をきっかけにして、新しい問題に移っていったというような面があることを、今度お話の用意をするために振返ってみてはじめて発見したような次第です。

以上、大変長くなりましたが、私のみてきた物理を回顧してみました。

§ 3. 物性基礎論とは

ここで、今迄私の関わって来たことの全容を見渡しながら、今日始めの御紹介の中にあつたように、私が担当して来た講座の名称でもある「物性基礎論」というものについて少しく考えてみたいと思います。「物性基礎論」という言葉は少くとも私の学生時代には存在していませんでした。調べたところ、1958年に京都で物理学会の年会がありました時に、初めて「物性基礎論」という分科が新設されていることが分りました(注9)。それから、私共の教室では1963年に「物性基礎論」という講座(注10)が創設されて、その時以来私自身が担当の責任を負ってきました。私としては初めから固定観念をもっていた訳ではありませんが、それ以来、機会ある毎に気になる事がありまして、大げさに申せば20年間宿題として、かゝえて参りました。——— そもそも基礎論とは何だろうということが、自分自身の問題となって来た訳であります。そこで、最終的な回答が出たというわけではないのですが、現時点において私の考えていることを少しく申し上げてみようと思います。——— と言ってもいくつかのことを、断片的に申し上げるほかはないのですが。

まず、物性基礎という言葉にこだわるわけではありませんが、基礎と言われますと、凝縮相の問題に限定せず、広く物理とは何だろうというようなことを考えずには済まされないように思われてきます。いうまでもなく、物理学というのは様々の動機、様々の手段、様々の応用等いろんな側面を持っておりまして、実に多彩であります。その核心をなしているような狭い意味の物理学というものがあるように思います。——そういう基本的な性格を基礎論と呼んではいかかと思うのですが——そういう風に考えて行くと——物理は単なる数学ではない、物理は単なる技術でもない、という訳で——そういう意味で非常に大事なことの一つは、「測定」ということが物理のまん中に座っていなければならないということであります。物理屋仲間の間でも、しばしば、きれいな理論がありますと、測定ぬきで理論から導かれることがらが議論されるということがよくあります。また、教科書などにきれいにまとめられた体系の記述を追って行く場合、測定ということはあまり具体的に触れておらないのが普通のことですが、これは基礎論的な視点から見て、果して健全であろうか、私にとっては疑問に思われます。すなわち、物理学の一番物理学らしい所は、何を測っているかという意識が明確であることです。こういう手段を使って、こういう測定をするから、測定されたデータを通じてこういう面が見えているのだ——ということを自分にも人にも説明できなければならない。そういう判然とした説明を求めるということが、ある意味で基礎論的な問題であると思われれます。物理に測定がともなうのは当然というだけの意味ではなくて、測定にある手段を用いるとすれば、その手段に固有の限界がある。ある限度以上のことは判定ができない。そういう測定法を意識して結果の意味を限定づける批判的な理解というものが物理学の中心にななければならない。そういう感じを、私は持っています。

第二の点は、物性基礎論の“論”は理論を意味すると考える人があるかも知れません。そして、理論にとっては“首尾一貫性”(consistency)ということが重要であるのは言うまでもありません。論理的に首尾一貫した理解というのが実際に物理の本領であるはずですが、しかしながら、論理的に consistent であれば、それだけで物理的な値うちがあるかと言え、必ずしもそうとは言えません。すでに申したように、物理学は自然について測定した事実を相手にしているのですから、その自然との対応を抜きにして、論理的完結だけを問題にするということは、数学ならばともかく、物理としては邪道である、ということが出来ます。極端に言えば、首尾一貫しておりながら、全体としては間違っているという理論もあるのです。内部的には、矛盾がない、いはば納得しているけれども、自然の学としては意味がないという場合もありうるのです。

第三に、理論的模型にせよ、実験的方法にせよ、方法というものを定めますと、その方法自体の自然の限界というものがあります。これは、意外に皆さんが気づかずにいる場合があるの

ではないかと思う面です。実験の場合は比較的是っきりしていると思うのですが、理論的な模型の場合には、理論から出てくる結果に対して、数学は万能といった信頼をおいている場合がないとは言えません。しかし、基礎的な場合に立てば、理論的模型とこれを扱う方法にも個々の限界があるということをも知っていなければならない場合があると考えられます。具体例はいろいろあると思いますが、一番わかりやすい例は、最近よく使われるコンピューターだと思います。コンピューターには容量 (capacity) というものがありまして、どんなに大きなコンピューターでも、その容量は有限であります。その容量の範囲内では機械的に首尾一貫した働きをしますが、すべての問題が計算可能という訳ではない。コンピューターに見合って計算できない問題というものが残ります。そこで、コンピューターがその境目、すなわち限界に達するというのは、どういうことかと言いますと、すでに述べたコンピューターの容量が問題になります。コンピューターの役割は、入力情報を処理して注文通りの出力を与えることですが、入力の情報量が処理装置自体の容量を越えれば注文通りの出力を与えることはお手上げになるわけです。これが、コンピューターの限界です。そういう意味で、自己の容量にひとしいものを処理する、あるいは自分で自分を評価することが処理の限界であることが場合によっては重要な問題になる。この限界以上になりますと、結果の振舞いを再現することが不可能になるという意味でカオス (chaos) と呼ばれますが、基礎論的にはこの様な状況のありうることを明確に意識し、考えておかねばならないと思うわけであります。

最後は、カオスの状態の問題です。この状態については、既にお話した訳ですが、基礎論的な視点から何が重要と見られるか。——それは干渉的不規則性 (coherent irregularity) という言葉で表現された二面的性格であります。従来の物理学においては、干渉的 (coherent) に記述できる状態では不規則性は無視してもよろしい。また、不規則性にもとづく統計的 (statistical) な記述が適用できる場合には干渉性は無視してもよろしい。——というような場合のいずれかに話を限ってきた傾きがありました。しかし、これは分子カオスの場合、分子の数 N が大きい ($N \sim 10^{23}$) という特殊事情によるもので、巨視的カオスの場合には、必ずしもその様な単純化は許されません。従って、上記のいずれか一方の特性を支配的に考えるのではなく、両面をとらえて記述しなければならない。乱流状態における秩序構造のごときものがその一例ですが、事実、虚心坦懐にみればこの様な状況が自然界の到るところに存在することが明らかになって来ました。——このような事実が真剣に取り上げられるようになったのは、比較的最近のことであり、基礎論的な視野が、それだけ実証的に拡大されてきたということが出来ます。

このような二面性が意識的に取り上げられた例として、古くは Onsager (1931) の相反定理を挙げることができます。彼は線型現象論にあらわれる速度係数テンソルの対称性が、その底に

ひそむ干渉的な力学法則の時間反転に関する対称性の反映であることを指摘しました。同様の精神を一般化したものが輸送係数と相関関数を結びつけた久保理論(1958)ですが、久保氏はまた「物性基礎論」(1958)という分科名の提唱者でもあり、当時流行していた格子統計のような純然たる確率論的模型にあき足らず、磁気共鳴現象等に見られるように、力学的・干渉的な面を見落してはならないという主張が、この分科名を提案した気持であったとのことであり、このように辿ってくれば、その後再び四半世紀をへて、今日活発に研究されるようになったカオス現象に見られる“巨視的エルゴード性”においては、上記の二面がはっきり現象の表面に現われており、基礎論的主張が重要であることは、自然にうなづかれるようになってきたと思われます。

以上、いくつかの点をあげてきましたが、総括的に述べれば、基礎論の使命は自然を取り扱う実験的手段、あるいは理論的方法を明確に見定めて、このような手段や方法の限界を、学問自体の内部で定式化することであろうと私は考えます。このような考え方は、後にふれるように、物理学と他の学問との関係についても見通しを与えることになるであります。

§ 4. 学際的問題

これは、大学が荒れた紛争時代の経験ですが、私は無理矢理物理教室から連れ出されまして、しばらく教室の外で生活するという経験をしました。考えてみると、物理教室の外を見るということも、外から物理教室を見るということも、なかなか簡単には出来ないことで、思わぬ事態の中で貴重な経験をした訳ですが、いろいろ考えさせられる問題がありました。その中の一つですが、物理以外の人々がよく皮肉まじりに使う言葉に、「物理帝国主義」という言葉があります。簡単に言えば、科学の様々の分野で研究されている問題が結局は物理学の領域内に包含される「筈」といった漠然たる主張を指すようであります。これは、必ずしも専門の物理学者の責任だけではないと思うのですが、科学史家、あるいは科学哲学を専門とする人々が、物理学は学問の典型だというようなことを割と気安く言いまして、それが専門家でない人々の間に広がり、次第に物理学者の方にも拡がって来たと思われるふしがないでもありません。いずれにせよ、そういう簡単な主張がまかり通るのであるのか？ 私は物理屋ですけども、これは少々話がうますぎると思います。その理由は、今しがたお話したことに関連があるのですが、決定論の内部に制御不能なカオス領域が存在することを想起すれば、物理学的な方法を用いての処理、又は制御ということに有限の容量、又は限界が存在すると予想されます。そこで限界を超えた向こう側の現象というものは、存在しないのかというと、そんなことはない。物理学的方法で制御することが難しいというだけのことで、現象自体はたしかに存在します。そこで

この種の問題だけをはじめから考察の対象とし、適切な問題意識とそれに基づく概念をたてて、この現象をすっきりととり扱うという別の分野があることは何の不思議もないと思うわけです。実はそういう風にして、科学には、現在みられるような様々の異なる分野ができてきたのだと思われまゝす。物理法則に決定性がある限り、すべては物理学の上部構造だと言いたければ言ってもよいが、制御ということに手つかずの領域で、そういうことを言って見て何の足しになるかということです。それよりも、はじめからこの領域にふさわしい量確立して、これを制御してみせる方が学問らしいと言ってよいのではないかと思います。

また、そういう意味で物理学自体もう少し広い視野を持った方がいいのではないか。すなわち、物理学自体は確立しておいて、すべてのものはそれで料理できる「はず」だという風に考えるよりも、物理学はまだ自分自身を拡大する可能性がある、そう考えた方が生産的であろうと思うわけです。物理学が自分の領土を拡大するというのではなく、物理学自身が自己変革といいますか、自分自身を拡大する、ということの方が健全で、そういう方向に行くべきではあるまいかと思います。また、そういう意味で、物理学以外の研究分野における概念の形成や、それに基づく研究の成果に、謙虚に耳を傾けるべきではあるまいかと思います。

そこで、この様な方向の具体的な努力の一例として、御存知の方もありますが、玉城記念講演会のことにふれておきたいと思います。これは、私が理学部のお世話をしておりました頃(1969年)、小林稔先生の御骨折によってスタートしたのですが、物理教室の大先輩にあたる玉城嘉十郎教授の御遺族から寄せられた寄附金を基にして行なわれている一年二回の公開学術講演会であります。

出発当初の個人的な思い出話をさせて頂きますと、時は大学紛争のさ中でありまして、何事につけても学生諸君と意見を戦わせていた時代でありました。理学部において、学生側からの要求として最大のものは、それまで存在していた学科間の壁をゆるめて自由に勉学させよという事でしたが、大学全体として空気の陰しい混乱の時代でありまして、しばしば腕力沙汰も見られました。———そういう空気の中で、寄附金の用い方を相談して、結局「玉城記念講演」という形に落ちついたのですが、この事をめぐって私自身の衷には忘れがたい気持ちがありました。

第一は、混乱の中で学生は勉学を忘れ、教員は研究が手につかないという事態に対する憤りとでも言いますか、———主張を表明するのに何も腕力に頼らねばならぬ必要はないではないか、論議に訴えて納得を通じて事を運ぶという論理的な面こそ大学にふさわしいのであって、どんな事態であっても学問研究の精神が大学に残っていなければならない。———これが、理学部として、今迄存在しなかった形の学術講演会を新たに始めるということの一つの柱であり

富田和久

ました。

第二は、すでに述べた学科の壁の撤廃を求める学生の要求と関連するのですが、種々調べてみると、学部古い時代には学科間の風通しのよいことが特徴だったようですが、各分野が成長するにつれて、歴史的に、制度的な枠が固定して来た面があり、一気に学科別を撤廃するなどと言っても、簡単に行なわれることとは思われない。——しかし、他面、学問が本当に動いている最前線の研究者の気持の上では、学科別の制度が必ずしも最善ではなく、ある場合にはより自由な交流が求められているというのが実情ではないか。——そういういわばロマンティックで流動的な若い研究意欲を軽々におさえるようなことはすべきでない。また、学問の前線が流動的であるなら、教育についてもそれに見合った自由度が残っていなければならない。——そういう気持が私の衷にありました。

そこで、種々の外的事情があって学部として動きにくいのなら、玉城講演のような機会を活用して、自由に学際的問題を取上げればよろしい。現在の前線に限らず、学問の将来像をにらんで、学科別には促われないテーマや問題を扱うのがよいのではないかと私は考えたのでありました。

今後、玉城講演がいつまで続くか存じませんが、出発当初のエピソードとして、今のべたような学際的精神を記憶して頂ければありがたいと思います。

§ 5. 物理屋の世界

あとは細かいことですが、40年近く物理屋として研究仲間と一緒に暮してきた訳ですが、その生活のあり方について、一つ二つ感想を述べて見ようと思います。

第一は、研究と教育との関係です。これには種々の見方があるようですが、大学の生活を送った者としては、研究と教育とがそれぞれ一人歩きをするのではなく、両者が関連し、刺激し合って前進して行くところに、大学ならではの使命と味わいがあると思っております。しかし、両者の関係で気になることがないわけではありません。

例えば、研究の最前線にいる人には常識的になっているかと思いますが、プライオリティー(priority)の尊重という問題があります。これは、研究を早く発表した方に優先権があるという考えで、研究者の意欲と生き甲斐を支えるために大切な習慣だと思います。しかしながら、この問題にあまりの重点が置かれるということはいかかなものか、と首をかしげたことが何度かありました。最近の読み物にも「ノーベル賞の決闘」などというのがありまして、皆さんも読まれたかと思います。私の印象ではアメリカが特にはげしいように思いますが、世界的にもそういう側面がみられます。私はどうもこういう先陣争いは学問研究の本道ではないように思

うのです。その証拠というか、プライオリティーを重くみれば見るほど、そこに研究や発想を秘密にするという心遣いがつきまといますが、これはどうも学問の本筋から外れているように思う。例えば、研究と教育ということを申しましたが、研究内容についてのプライオリティーを余り重く見ると、学問を人から人へと伝えて行く、すなわち広い意味での教育ということは難しくなるのではないか。教育の場においては、——特に研究者の教育においては、秘密とおおよそ反対の極で、未だ出来上がっていないことや構想を含めて、本当にへだてなく話し合い論じ合う他に方法はないと思われまふ。勿論、どこから構想をえたかということは尊重すべきことを教えたり、教わったりしなければなりません、秘密ということは教育また学問の敵ではないかと思われまふ。諸君にも様々の経験がおありであろうと思われまふので、一つこういう問題を提起しておきたいと思われまふ。

第二は、これも長い間ご厄介になってきた教室の制度とか、運営の問題です。これは私の不得手な方面ですが、特に私は東京から京都に移りましたので、その当座は東京とちがった京都のやり方に面喰って疑問を感じ、また苦しんだことを想い起します。しかしながら、考えてみれば、それから30年の時を経てきた訳ですので、教室の制度とか、運営という問題についても、経験にもとづく感想を述べさせて頂きたいと思われまふ。

それは、そもそも制度とかその運営とかいうものは、教室の場合、そこで生き生きした教育が行なわれ、また活発な研究が芽生えて行くことが眼目であるということでありまふ。勿論、眼前の不合理に対して、こうした方がよいのではないかという筋があつて、その筋に従つて制度や運営が改変されるということは結構だと思われまふ。ただ、すでに申したように制度そのものに値打があるのではなく、教室における研究・教育の活性化に眼目があるということを忘れてはならないのではあるまいか。制度をいじったからと言って、すぐさまその効果を云々するのは勿論誤りですが、10年あるいは20年の年月を経て、教室から生れる研究や教育に積極的に評価すべき新しい芽がそだってこないような場合には、制度や運営法というものは、それ自体に固執せず、大眼目をにらんで見直して行くという態度が必要なのではあるまいか。私は今そんな感想をいだいておりまふ。

§ 6. むすび

以上、今までに話したことのない古いことを持ち出して種々お話ししましたが、たった一度のこういう話が、これから長い研究生生活をされようという方々に何かの参考になればと思われまふ。その様な意味で、最後に、最近の私が、研究生生活というものについて、特に感じておりまふことを一、二述べてみたいと思われまふ。

まず申したいことは、学問、特に基礎的な学問は、やるならば徹底してやれ、ということです。——これは、すでに述べた私自身の経験とも関係があるのですが、先達が築き上げた方法あるいは考え方によって扱うことの出来る問題は数多く残ってはいますが、全ての問題がこれで料理できるはずだ、といういわば保障のない楽観論に安住しているのではなく、既成の方法や概念のぎりぎりの限界にふれるまでやるべきだという意味であります。そういう経験によって始めて、我々は創造の世界にふれ、同時に謙遜を学ぶことになると思うからです。

この様な意味での徹底を欠いた場合、索引力を失った学問は横道にそれる恐れがあります。その例をのべた方が分り易いかも知れません。第一に、保証のない楽観論はある日保証のない悲観論に転ずる可能性があります。そうすればやり掛けの研究を中止して、別の分野に花を求めて移って行くということがよく起ります。

第二に、長年仕事をした結果、えられた成果は自分の持物のように思われてきて、自分中心にその成果を利用することが最後に残るとするのは悲しい思いがします。

第三に、物理学の進展が時を移さず工学的応用に利用されることは今日珍しいことではありませんが、それでは応用的可能性の大小によって、学問の成果を評価し、そういう視点から、研究の費用を按分するのが正しい方法なのか。——すでに述べましたように、私自身としては、自分の眼でみた原子爆弾が、この様にしてつくり出されたことを思うと、肌に粟を生ずる思いであり、到底、学問がその様な方向にのびて行くことが正しいとは思えません。

その他にも例があると思いますが、以上のべたような横道は、いずれも、学問自体の基本的な牽引力が見失なわれた時に起ってくるように思われる。——そして、この牽引力こそ、さきに述べた徹底ということだと思うのです。すなわち、既成の方法や概念のぎりぎりの限界を探索するという態度が必要だと考える所以であります。この牽引力がある限り、学問は常に前進の魅力に満ちており、横道に迷い込んでいる暇はないように思います。

次に申したいことは、今述べた徹底ということと深いところでは関連があるのですが、一見これと矛盾したように思われるかも知れません。それはこういう事です。——私達は例えば、物理学の研究という仕事について、自分の生涯の30年あるいは40年をこれに投ずるとする。日常的には、個人的な出来事を含めて仕事以外の様々のことに時を費やすことは事実ですが、大きく言えば自分のエネルギーの90%は専門の仕事に捧げていることになろうかと思います。——そこで、ある日、専門外の人が我々に向かって「君は何のためにそれだけの精力を投じて物理学の研究をするか？」と尋ねられたとしたら、諸君はどう答えますか。私自身、何度かそういうことを自問して、この問いに対して答えがないというのはいかにも情ないことだと思うようになりました。

この問題に対する私の答は —— 問題意識をもって学問をせよ —— ということです。これは何も科学の領域に限定しなくてもよいのですが、自分が一生かかって追求したいという問題意識があって、物理学の研究というのはそれを追求し、また表現するための素材なのではないか。長いと言っても30年余りの期間に具体的に手がけられる問題は数が知れている訳ですが、にも拘らずそこに自分の生活の殆どすべてを注入して悔いないということは、ある意味を物理学を超えた基本的問題意識があって、物理学の研究はそれを考えるため素材、あるいは舞台であると思うのですが、諸君はどう思われますか。そういう問題意識があつてはじめて、職業的・技術的な労力というものと、これにたずさわる人間の生き甲斐との間に呼吸が通うのではあるまいか。—— たとえ手にしうる素材は有限であっても、メタファーとしての問題意識は大きくもつべきだと私は思います。同じような言い方をすれば、人間の一生は有限ですが、それは一人の人間の一生よりも大きな問題を学ぶための素材であるという面があるように思います。

そういうことを申し上げて、私自身は物理学研究のスリリングな前線を離れて、後衛の立場にまわろうと思います。前線を離れるのはいくらか淋しいが、後衛には後衛の面白い面があるように思います。いわば今まで鼻をすりつけるようにして、一つ一つを刻明にみて来た世界から、今度は稍距離をおくことになりますが、多くのものが一辺に見えると言う世界に移るような思いを持つのでありまして、そこにはそこで、また種々とやるべき仕事があるのではないかと考えております。

今後、種々皆さんの研究にふれ、私自身の考えを携えて来て、若い諸君と討論していただくことを楽しみにしております。

申しおくれましたが、最近10年程は、私自身健康が充分でなく、種々の点で皆様にご援助いただいたことを恐縮に存じ感謝しております。最後に心から諸君の御健勝を祈り、御健斗を期待して私の話を終ります。

御静聴ありがとうございました。

(注1) 横山秀三郎氏、当時外務省勤務、米国に学び、新聞記者としての長い滞米経験から、この意見が出たことが推察される。

(注2) 高田徳佐氏、東京府立一中(現在の日比谷高校)教諭、物理担当。

(注3) 原島鮮氏、第一高等学校のクラス担任。その後、九州大学、東京工業大学で教鞭をとられ、東京女子大学学長もされた。——「表面張力の理論」の研究で知られ、物理教育に関する著書も多数ある。

- (注4) 「後期」は京大での「4回生」に相当する。
- (注5) 「みつばさのかげに」 — 川西瑞夫追憶と遺稿 — (1965年, みすず書房)
- (注6) その時代の教え子の中には永田忍君(京大物理出身, 現在宮崎大学教授), 賀陽宮治憲君(現デンマーク大使)などもいた。
- (注7) 栗屋仙吉氏, 戦争前夜1933年, 氏が大阪府警察部長在任の折, 兵士の度重なる信号無視に抵抗して, 軍を相手に文民秩序を守りぬいたことは我国の民主政治の歴史において「ゴー・ストップ事件」として知られている。元安川に東面した広い静かな和室で私が栗屋氏と語った時, その坐机の上には, 聖書とヒルティのGlück(幸福論)だけが置かれていた。
- cf. 「栗屋仙吉の人と信仰」津上毅一編(1966, 待晨堂)
- (注8) この分類は物理学に限定せず広く用いられるようであるが, 他方では, 後年久保亮五氏が「固体物理学」に話を限って, 問題を4つの種族に分類したことを想起させる(cf. 「固体物理学の歩み」久保亮五, (1962, 岩波))久保氏は固体物理の問題を0, 1, 2, 3の四種族に分類した。それによれば, 第0族は既知の難問という類で, 問題はよく分っているが堅い食物で, 証明は容易でないといった一群の問題, 第1族は地味な前進を続けている分野で, 一步一步の前進にはそれなりの意味があるが, 一步一步の前進によって局面が変るようなものではない。第2族は流動的前線とも言うべき分野で, 時代の社会的関心や要請に密着した面があり, 小さい工夫でも大きな応用的意味をもつことがある。ジャーナリズムに登場する花形もここに属するが, 実態としては玉もあり, 石もある賑やかな分野。最後の第3族は一般にはまだ物理学に充分乗っていない問題, 何かをはらんでいるが, 何があるのか, あるいはないのか, 不明である。可能性を秘めつつ確実なもの和不確実なものとの混りあっている混沌, というように規定されている。これを, G. Templeの分類に対応づけるとすれば, 分野がひろがっていることは別として, 第0, 第1族的なものはほぼ 'classical' な問題に相当し, 第2, 第3族的なものはほぼ 'romantic' な問題に相当すると言ってよいと思われる。
- (注9) 当時の関係者の言によると, この名称は久保亮五氏の提案であった由である。
- (注10) 私の知る限り, 「物性基礎論」という名称をもった講座は, 現在まで京都大学以外にはないらしい。
- (注11) 「玉城記念講演」は原則として, 印刷された記録が, 京都大学理学部から発行されている。関心のある方は, 問い合わせられるとよい。

文 献

1950

The Phenomenological Theory of Liquid Helium II

S. Nakajima, K. Tomita and T. Usui

The Physical Review 78 768–779 (1950)

1952

The State of Solid Methane as inferred from Nuclear Magnetic Resonance

K. Tomita

Progress of Theoretical Physics 3 (1), 138–139 (1952) L

1953

a. States of Solid Methane as Inferred from Nuclear Magnetic Resonance

K. Tomita

The Physical Review 89 (2), 429–438 (1953)

b. On the Electronic Structure of LiH Atomic Orbital Approach with Configurational Interaction

K. Tomita

Progress of Theoretical Physics 10 (3), 362–363 (1953) L

c. On the State of Solid Hydrogen

K. Tomita and I. Mannari

Progress of Theoretical Physics 10 (3), 367–368 (1953) L

d. Broadening in Nuclear Magnetic Resonance Absorption

R. Kubo and K. Tomita

Proceedings of the International Conference of Theoretical Physics, Kyoto and Tokyo, (September 1953) p. 779–790

e. Frequency Dependence of Paramagnetic Resonance in $K_2CuCl_4 \cdot 2H_2O$

K. Tomita

Proceedings of the International Conference of Theoretical Physics, Kyoto and Tokyo, (September 1953) p. 797–801

f. 核磁気共鳴吸収とその応用

「科学」 23 29–35 (1953)

1954

A General Theory of Magnetic Resonance Absorption

R. Kubo and K. Tomita

Journal of the Physical Society of Japan **9**, 888–919 (1954)

1955

- a. On the State of Solid Hydrogen

K. Tomita

Proceedings of the Physical Society, London, **A68**, 214–228 (1955)

- b. A General Theory of Pressure Broadening

K. Tomita

Proc. Conference on the Broadening of Spectral Lines (Pittsburgh, 1955) p. 62

1957

- a. Equivalence between the Line Width and the Rate of Energy Relaxation in the Inversion Spectrum of Ammonia

K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **17** (3), 513–514 (1957) L

- b. On the Pressure Shift of the Inversion Frequency of Ammonia

K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **18** (3), 316–317 (1957) L

1958

- a. A General Theory of Magnetic Resonance Saturation

K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **19** (5), 541–580 (1958)

- b. A General Theory of Magnetic Double Resonance

K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **20** (5), 743–773 (1958)

- c. 核磁気共鳴吸収 — I. 磁気共鳴吸収の原理

「物性物理学講座」 **7**, 1–70 (共立出版 1958)

- d. 磁気緩和現象

「日本物理学会誌」 **13**, 1–10 (1958)

1959

Interpretation of the Optical Model in Nuclear Reactions

S. Hayakawa, T. Sasakawa, K. Tomita, M. Yasuno and M. Yokota

Progress of Theoretical Physics **21** (1), 85–97 (1959)

1961

Theory of Magnetic Relaxation

K. Tomita

Journal of the Physical Society of Japan **17**, Supplement B-I, 71–74 (1962)*

*Proceedings of International Conference on Magnetism and Crystallography **1**, (1961)

1962

Theory of Magnetic Relaxation –Corrigenda–

K. Tomita

Journal of Physical Society of Japan **17**, 1903 (1962)

1963

a. Green's Function Theory of Magnetic Relaxation. I

–General Formulation–

K. Tomita and M. Tanaka

Progress of Theoretical Physics **29** (4), 528–549 (1963)

b. Green's Function Theory of Magnetic Relaxation. II

–A Ferromagnet above the Curie Temperature–

M. Tanaka and K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **29** (5), 651–674 (1963)

c. Exchange Amalgamation in Paramagnetic Resonance

K. Tomita, M. Tanaka, T. Kawasaki and K. Hiramatsu

Progress of Theoretical Physics **29** (6), 817–828 (1963)

d. Spectral Diffusion

「日本物理学会誌」 **18**, 223–224 (1963)

1964

a. Theory of critical relaxation and scattering

–Summary of paper presented at the Conference–

K. Tomita (Theoretical Physics Division, A.E.R.E., Harwell, England)

Proceedings of the International Conference on Magnetism (Nottingham, Sept. 1964) p. 103–104

b. On the Spin Wave Spectrum of an Antiferromagnet

M. Tanaka and K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **32** (6), 968–969 (1964) L

1965

Green's Function Theory of Magnetic Relaxation. III

—The Case of an Alternant Magnet—

K. Tomita and M. Tanaka

Progress of Theoretical Physics **33**, 1–21 (1965)

1966

- a. Fermion description of a Heisenberg spin system

K. Tomita

Proceedings of the Physical Society **88**, 293–310 (1966)

- b. Landau and Peierls Criteria in the Theory of Electrical Conductivity

T. Ando and K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **36** (5), 955–976 (1966)

- c. Sloppy Spin Waves and Anomalous Spin Diffusion

K. Tomita

JAERI **1113**, 106–109 (1966)

- d. スピン波の不安定化

「物性」 **7**, 135–145 (1966)

1968

- a. Diffuse Collective Modes in the Paramagnetic Phase

K. Tomita

JAERI **1157**, 80–84 (1968)

- b. Quasi-Collective Modes in the Paramagnetic Phase

K. Tomita and T. Kawasaki

Journal of the Physical Society of Japan **26**, Supplement 157–159 (1969)*

*Proceedings of the International Conference on Statistical Mechanics, Kyoto 1968.

1970

- a. Green's Function Theory of Magnetic Relaxation. IV

—Critical Behaviour of Paramagnetic Resonance—

K. Tomita and T. Kawasaki

Progress of Theoretical Physics **44** (5), 1173–1191 (1970)

- b. Quasi-Collective Modes and Dynamical Scaling

K. Tomita

JAERI **1197**, 5–10 (1970)

1971

- a. Critical Magnetic Relaxation

—Quasi-Collective Mode and Dynamic Scaling—

K. Tomita and T. Kawasaki

Progress of Theoretical Physics **45** (1), 1–24 (1971)

- b. A Dynamic Approach to Phase Transition Based on Moments

K. Tomita and H. Tomita

Progress of Theoretical Physics **45** (5), 1407–36 (1971)

1973

- a. Dynamical Properties of One Dimensional Heisenberg Model

K. Tomita and K. Kawasaki

Progress of Theoretical Physics **49** (6), 1858–1876 (1973)

Errata, *ibid.* **54** (2), 291 (1975)

- b. A Model for Muscle Contraction

K. Tomita

Cooperative Phenomena in Multicomponent Systems (ed. H. Haken, Teubner, Stuttgart, 1973) p. 232–240

- c. Irreversible Circulation of Fluctuation

K. Tomita and H. Tomita

Physics Letters **46A** (4), 265–266 (1973)

- d. 動的振舞からみた相転移

「日本物理学会誌」 **28**, 181–191 (1973)

1974

- a. Physical Representation of Spectral Line Shape Based on Moments

K. Tomita and H. Mashiyama

Progress of Theoretical Physics **51** (5), 1312–1331 (1974)

- b. Irreversible Circulation of Fluctuation

K. Tomita and H. Tomita

Progress of Theoretical Physics **51** (6), 1731–1749 (1974)

- c. Irreversible Circulation and Path Probability

K. Tomita, and T. Ohta and H. Tomita

Progress of Theoretical Physics **52**, 737–738 (1974) L

- d. Irreversible Circulation and Orbital Revolution

K. Tomita, T. Ohta and H. Tomita

Progress of Theoretical Physics **52** (6), 1744–1765 (1974)

- e. 久保理論をめぐって

「日本物理学会誌」 29, 884—886 (1974)

- f. 力学系と揺動

「数理科学」 No. 138, 54—58 (1974)

1975

- a. A Model for Oscillating Chemical Reactions

K. Tomita and K. Kitahara

Biophyscial Chemistry 3, 125—141 (1975)

- b. Irreversible Circulation and the Undamped Spiking in Lasers

K. Tomita, T. Todani and H. Kidachi

Physics Letters 51, 483—484 (1975)

- c. 非平衡反応系における非線形現象 — 時間的リズムと空間的パターン —

「日本物理学会誌」 30, 129—134 (1975)

- d. 非平衡開放系の新状態

「科学」 45, 9—17 (1975)

1976

- a. Irreversible Circulation and the Undamped Spiking in Lasers

K. Tomita, T. Todani and H. Kidachi

Physica 84A, 350—370 (1976)

- b. Irreversible Circulation of Fluctuation in Reactor Noise

K. Kishida, S. Kanemoto, T. Sekiya and K. Tomita

Journal of Nuclear Science and Technology 13 (4), 161—171 (1976)

- c. 反応系の転移現象

「生物と協同現象」 p. 175—212 (東大出版会, 1976)

1977

- a. Entrainment of a Limit Cycle by a Periodic External Excitation

K. Tomita, T. Kai and F. Hikami

Progress of Theoretical Physics 57 (4), 1159—1177 (1977)

- b. Simplified Model for Belousov-Zhabotinsky Reaction

K. Tomita, A. Ito and T. Ohta

Journal of Theoretical Biology 68, 459—481 (1977)

- c. Ilya Prigogine

「科学」 47, 780—781 (1977)

1978

- a. Stroboscopic Phase Portrait and Strange Attractors
K. Tomita and T. Kai
Physics Letters **66A** (2), 91–93 (1978)
- b. Chaotic Behaviour of Deterministic Orbits:
The Problem of Turbulent Phase
K. Tomita and T. Kai
Progress of Theoretical Physics Supplement No. 64, 280–294 (1978)
- c. 巨視的な揺ぎ — 乱流相の問題 —
「数理科学」No. 178, 18–24 (1978)

1979

- a. Stroboscopic Phase Portrait of a Forced Nonlinear Oscillator
T. Kai and K. Tomita
Progress of Theoretical Physics **61** (1), 54–73 (1979)
- b. Thermal Fluctuation of a Self-Oscillating Reaction System Entrained by a Periodic External Force
H. Daido and K. Tomita
Progress of Theoretical Physics **61** (3), 825–841 (1979)
- c. Thermal Fluctuation of a Self-Oscillating Reaction System under a Periodic External Force
II
—Quasi-periodic Region—
H. Daido and K. Tomita
Progress of Theoretical Physics **62** (6), 1519–1532 (1979)
- d. Giant Transitory Excitation—A Thermokinetic Model
C. Murakami and K. Tomita
Journal of Theoretical Biology **79**, 203–222 (1979)
- e. Chaos and Its Description
K. Tomita
Pattern Formation by Dynamical Systems and Pattern Recognition (ed. H. Haken, Springer, Berlin, 1979) p. 90–97
- f. Chaos in the Belousov-Zhabotinsky Reaction in a Flow System
K. Tomita and I. Tsuda

Physics Letters **71A** (5, 6), 489–492 (1979)

g. Chaotic Response of a Limit Cycle

K. Tomita and T. Kai

Journal of Statistical Physics **21** (1), 65–86 (1979)

h. 熱雑音から非熱雑音へ

「統計物理学の進歩」 pp. 69–90 (裳華房 1979)

1980

a. Possibility of Chaotic Behaviour and Multi-Basins in Forced Glycolytic Oscillations

K. Tomita and H. Daido

Physics Letters **79A**, (2, 3), 133–137 (1980)

b. Towards the Interpretation of Hudson's Experiment on the Belousov-Zhabotinsky Reaction
—Chaos Due to Delocalization—

K. Tomita and I. Tsuda

Progress of Theoretical Physics **64** (4), 1138–1160 (1980)

c. Statistical Mechanics of Deterministic Chaos

—The Case of One-Dimensional Discrete Process—

T. Kai and K. Tomita

Progress of Theoretical Physics **64** (5), 1532–1550 (1980)

d. Towards the Interpretation of the Global Bifurcation Structure of the Lorenz System
—A Simple One-Dimensional Model—

K. Tomita and I. Tsuda

Progress of Theoretical Physics Supplement No. 69, 186–199 (1980)

e. カオス発生に関する一模型

「フィジックス」 **2**, 286–293 (1980)

1982

a. Giant Transitory Excitation and Repetitive Pulsing

K. Tomita

Dynamic Aspects of Biopolyelectrolytes and Biomembranes (Kōdansha, 1982) p. 485–492

b. Structure and Macroscopic Chaos in Biology

K. Tomita

Journal of Theoretical Biology **99**, 111–118 (1982)

c. Chaotic Response of Nonlinear Oscillators

K. Tomita

Physics Reports (A Review Section of Physics Letters) **86** (3), 113–167 (1982)

d. Chaos in the Belousov-Zhabotinsky Reaction

I. Tsuda and K. Tomita

US-Japan Joint Institute for Fusion Theory Workshop on ‘Nonequilibrium Statistical Physics Problems in Fusion Plasmas –Stochasticity and Chaos–’ (Nov. 1981) p. 131–137 (Institute of Plasma Physics, 1982)

e. 生命現象における構造と揺ぎ

「非平衡系としての生体」(総合研究A)

研究成果報告集, pp. 48–53 (櫛田編, 1982)

1983

a. Coarse Graining Revisited

–The Case of Macroscopic Chaos–

K. Tomita

Chaos and Statistical Methods* (Springer, 1984)

*Proc. Kyoto Summer Institute (Sept. 1983)

b. 粗視化の問題 — 巨視的カオスをめぐって —

「物性研究」40, 165–177 (1983)

1984

a. The Significance of the Concept ‘Chaos’

K. Tomita

Progress of Theoretical Physics Supplement No. 79, 1–25 (1984)

b. これからの物性物理

「物性研究」41, 60–62 (1984)

1985

カオスの意義

「日本物理学会誌」40, 99–118 (1985)

1986

a. Periodically Forced Nonlinear Oscillators

K. Tomita

‘Chaos’ p. 211–236 (ed. A. V. Holden, Manchester University Press, 1986)

b. Forty Years with Physics — Introduction to the List of Publications —

‘Collection of Papers dedicated to Prof. K. Tomita’ (1986)